รายงานโครงการวิจัย

การใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีและเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในการปลูกสับปะรด

The reducing of chemical fertilizer and the increasing of nutrient absorption in pineapple cultivation by soil microorganisms

สนธยา ขำติ๊บ

Sontaya Khamtib

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2563

รายงานโครงการวิจัย

การใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีและเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในการปลูกสับปะรด

The reducing of chemical fertilizer and the increasing of nutrient absorption in pineapple cultivation by soil microorganisms

สนธยา ขำติ๊บ

Sontaya Khamtib

กรมวิชาการเกษตร

ปี พ.ศ. 2563

กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
ผู้วิจัย	II
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	III
บทนำ	1
บทคัดย่อ	4
การทดลองที่ 1 การคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในห้องปฏิบัติการ (Selection of phosphate and potash solubilizing bacteria in laboratory)	6
การทดลองที่ 2 การศึกษาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกไว้กับสับปะรดในสภาพกระถาง (Effect of phosphate - potash solubilizing bacteria on growth and yield of pineapple in pot experiment)	25
การทดลองที่ 3 การคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด (Selection of efficient arbuscular mycorrhizal fungi in the nutrient absorption for pineapple)	48
การทดลองที่ 4 การศึกษาการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชกับสับปะรดในสภาพกระถาง (Study on the use of arbuscular mycorrhiza with phosphate - potash solubilizing bacteria for pineapple in pot condition)	69
บทสรุปและข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	84

กรมวิชาการเกษตร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณ ดร. อำนาจ เอี่ยมวิจารย์ ดร. อมรรัตน์ ใจยะเสน และดร. กัลยกร โปร่งจันทึก ที่อนุเคราะห์สารเคมี และเอื้อเฟื้อสถานที่ ในการทำงานทางอณูชีววิทยา และสุดท้ายขอขอบคุณ นายเยี่ยม จันทร์ฉาย เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการทดลอง และร่วมแลกเปลี่ยนความรู้ในการผลิตสับปะรด ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นไปได้ด้วยดี

กรมวิชาการเกษตร

ผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	สังกัด	
นายสนธยา ขำติ๊บ Sontaya Khamtib	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	หัวหน้าโครงการ
นางสาวกนกอร บุญพา Kanokon Bunpha	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวบุณฑริก ฉิมชาติ Boontarik Chimchart	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวกิตจเมธ แจ้งศิริกุล Kitjamate Jangsirikul	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	ผู้ร่วมวิจัย
นางสุปรานี มั่นหมาย Supanee Munmai	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวนิศารัตน์ ทวีนุต Nisarat Thaweenut	กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร	ผู้ร่วมวิจัย
นายธวัชชัย อินทร์บุญช่วย Tawatchai Inboonchuay	ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ผู้ร่วมวิจัย

กรมวิชาการเกษตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AM	อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา
Avail.P	Available phosphorus
DMRT	Duncan's multiple range test
DW	Dry weight
EC	Electrical conductivity
Exch.K	Exchangeable potassium
IAA	Indole-3-acetic acid
KSI	ดัชนีการละลายโพแทช (Potash solubilizing index)
ns	non-significant
OFAC	One-factor-at-a-time method
OM	Organic matter
PCR	Polymerase chain reaction
PSB	Phosphate – potash solubilizing bacteria
PSI	ดัชนีการละลายฟอสเฟต (Phosphate solubilizing index)
RCB	Randomized completely block design
SF	soil test-based fertilizer application
Total P	Total phosphorus

กรมวิชาการเกษตร

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

สับปะรด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ นอกจากนี้ยังมีพันธุ์อื่น ๆ ที่ปลูกเพื่อบริโภคผลสด เช่น พันธุ์ภูเก็ต ตราดสีทอง เพชรบุรี 1 MD2 และนางแล เป็นต้น ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตสับปะรดได้ในระดับต้น ๆ ของโลกก็ตาม หากเปรียบเทียบผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในระดับที่ต่ำมาก คือ 3,880 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่คอสตาริกา บราซิล และฟิลิปปินส์ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก เท่ากับ 9,555 6,289 และ 6,468 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกให้สูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิต จะทำให้สับปะรดของไทยมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้สูงขึ้น ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตสับปะรดจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ในประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดจำนวนมากกระจายทุกภูมิภาคของประเทศ แต่พื้นที่หลักที่สำคัญ คือ ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี ซึ่งมีการปลูกสับปะรดมาเป็นเวลายาวนาน โดยทั่วไปสับปะรดต้องการปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 1,000–1,500 มิลลิเมตรต่อปี แต่ต้องตกกระจายสม่ำเสมอตลอดปี และมีความชื้นในอากาศสูง พื้นที่ส่วนใหญ่ในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์เป็นพื้นที่ภูเขา รองลงมาจะเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงเป็นเนินเขา พบว่า เป็นกลุ่มชุดดินที่ 35 เนื้อดินชั้นบนเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวปนลูกรังหรือเศษหิน ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวหรือดินเหนียวปนลูกรัง สีดินเป็นสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลปนแดง เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ มีการระบายน้ำดีถึงปานกลาง ความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติต่ำ บางพื้นที่พบชั้นดินเหนียวสีเทา มีจุดประสีเหลือง สีน้ำตาลและสีแดงของศิลาแลงอ่อนภายในความลึก 150 เซนติเมตร จากผิวดิน เหมาะต่อการใช้ปลูกสับปะรด มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย ปอ งา และถั่ว (ไมตรี และ กัลยา, 2547) ซึ่งสับปะรดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิดที่ระบายน้ำดี ได้แก่ ดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินปนลูกรัง ดินทรายชายทะเล มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดินควรเป็นกรดเล็กน้อย คือตั้งแต่ 4.5–5.5 (เกตุอร, ม.ป.ป.) โดยปกติดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำจะมีอัตราการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืชสูง (Fearnside, 1998) ทำให้เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกสับปะรด ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะตกตะกอนในรูปของสารประกอบพืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้งที่ทำการเพาะปลูกสับปะรด และเพิ่มปริมาณขึ้นทุกปี ทำให้ต้นทุนในการผลิตสับปะรดสูงขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนธาตุอาหารจากรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ย และลดต้นทุนในการผลิตสับปะรดได้

จุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีสหลายชนิดมีความสามารถในการละลายธาตุอาหารพืชที่ถูกตรึงอยู่ในดิน เช่น ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดินหรือโพแทสเซียมที่ถูกยึดอยู่ในอนุภาคดิน นอกจากนั้นจุลินทรีย์ดินบางชนิดยังสามารถสร้างเอนไซม์ไฟเตส (phytase) เพื่อย่อยสลายไฟเตต (phytate) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่สะสมในดิน ทำให้ธาตุอาหารพืชดังกล่าวปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถ

กรมวิชาการเกษตร

นำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดการสะสมธาตุอาหารพืชในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ในดิน และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชได้

ปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้หน่อข้างเป็นส่วนขยายพันธุ์ ซึ่งการเจริญเติบโตไม่พร้อมกันทำให้มีปัญหาต่อการตอบสนองต่อการใช้สารเคมีในการเร่งการออกดอกทำให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกต่ำ ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตสับปะรดโดยการใช้หน่อข้าง สิ่งที่จำเป็น คือ การทำให้การเจริญเติบโตของสับปะรดมีความสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่อการใช้สารเคมีในการเร่งการออกดอก ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นทางเลือกหนึ่งเพิ่มศักยภาพในการผลิตสับปะรด เนื่องจากเส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหาร เพิ่มความชื้นในดิน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้ต้นสับปะรดมีความสมบูรณ์อย่างสม่ำเสมอพร้อมต่อการกระตุ้นการออกดอก ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกให้สูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิต จะทำให้สับปะรดของไทยมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและพัฒนาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในแปลงสับปะรดและลดปริมาณปุ๋ยเคมีในการปลูกสับปะรด และการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด ซึ่งนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการปลูกสับปะรดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชเพื่อลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี
2. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด

วิธีการวิจัย

โครงการวิจัยการใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีและเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในการปลูกสับปะรด เป็นการศึกษาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชและราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสำหรับสับปะรดเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตของสับปะรด ได้แก่ ลดการใส่เคมีในการปลูกสับปะรด และช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด การวิจัยเริ่มต้นด้วยการคัดแยกจุลินทรีย์จากพื้นที่ปลูกสับปะรด จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ และจำแนกสายพันธุ์จุลินทรีย์ในห้องปฏิบัติการ จุลินทรีย์สายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพจากห้องปฏิบัติการจะถูกนำไปร่วมกับการผลิตสับปะรด โดยโครงการวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 การคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในห้องปฏิบัติการ (Selection of phosphate and potash solubilizing bacteria in laboratory) เริ่มต้นจากการคัดแยกแบคทีเรียจากพื้นที่ปลูกสับปะรด คัดเลือกแบคทีเรียที่ประสิทธิภาพในการละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช เพื่อจัดจำแนกบ่งชี้ชนิดของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช สุดท้ายศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกได้

กรมวิชาการเกษตร

การทดลองที่ 2 การศึกษาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกไว้กับสับปะรดในสภาพกระถาง (Effect of phosphate - potash solubilizing bacteria on growth and yield of pineapple in pot experiment) นำแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการละลายฟอสเฟตและโพแทช คือ *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) มาทดสอบกับการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง ทำการศึกษาการโดยวางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorial ที่จัดในรูปแบบ RCB มีปัจจัยที่ 1 คือ การแช่ และไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช 4 ระดับ ได้แก่ 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91, 4.20-0.90-1.94 และ 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้หน่วยการทดลองละ 10 กระถาง บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรด

การทดลองที่ 3 การคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด (Selection of efficient arbuscular mycorrhizal fungi in the nutrient absorption for pineapple) เริ่มต้นจากการคัดแยกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาจากพื้นที่ปลูกสับปะรด คัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนได้เกิน 500 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากถึง 96.67 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบกับการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง ทำการศึกษาการโดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 6 กรรมวิธี ทำการทดลอง 4 ซ้ำ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต ผลผลิต คุณภาพผลผลิต และการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรด

การทดลองที่ 4 การศึกษาการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชกับสับปะรดในสภาพกระถาง (Study on the use of arbuscular mycorrhiza with phosphate - potash solubilizing bacteria for pineapple in pot condition) ทำการทดสอบการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชกับการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง กระถาง ทำการศึกษาการโดยวางแผนการทดลองแบบ RCB 5 กรรมวิธี ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ซึ่งทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ คิดเป็นอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ทำการศึกษาในดินทรายปนร่วน ณ แปลงสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัด บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโต และการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรด

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี และเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด เริ่มต้นจากคัดเลือกแบคทีเรียที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด จากนั้นนำแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชและรา AM ที่ได้ทดสอบร่วมกับการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง จากการทดลองพบว่า สามารถคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่มีประสิทธิภาพ คือ *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง พบว่า การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทชลงร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ คือ ลดลงจากอัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม เป็น 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการติดดอก และผลผลิตของสับปะรดทั้งปริมาณผลผลิต (น้ำหนักผลและขนาดผล) และคุณภาพผลผลิต (ความหวาน ความเข้มข้นน้ำตาล และความฉ่ำ) นอกจากนี้การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี ยังช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ และโพแทสเซียมในดินด้วย

ในส่วนของการคัดเลือกรา AM ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด สามารถคัดเลือกรา AM ที่สามารถเพิ่มจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากสูงสุดได้ 5 ไอโซเลท คือ SMZ62-1 SMZ47-5 SMZ79-4 SMZ62-2 และ SMZ79-3 ซึ่งเมื่อนำไปศึกษาร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกสับปะรดในสภาพกระถาง โดยใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม พบว่า รา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 สามารถเพิ่มการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุดในทุกส่วนของสับปะรด ได้แก่ ลำต้นรวมใบ ราก จุกเปลือกผล และเนื้อผล เท่ากับ 2.430 0.351 0.387 0.298 และ 0.305 กรัมต่อต้น อีกทั้งช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงสุดในส่วนลำต้นรวมใบและราก และมีค่าการดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุดในรากและเปลือกผลอีกด้วย ส่วนการทดสอบการใช้รา AM ร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช พบว่า การใช้รา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-4 อย่างเดียว และการใช้รา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ก่อนปลูก ช่วยส่งเสริมต่อความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และทรงพุ่มได้ดี มีค่า 3.15 69.57 และ 111.83 เซนติเมตร นอกจากนี้การใช้รา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ก่อนปลูก ส่งผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในลำต้นและรากได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Abstract

This study aims to develop technology to use phosphate-potash solubilizing bacteria to reduce the use of chemical fertilizers. And to develop technology to use arbuscular mycorrhizal fungi to increase the nutrient absorption of pineapple. First step, isolation and selection of efficient phosphate- potash solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. Next step, efficient phosphate- potash solubilizing bacteria and AM fungi were tested with pineapple cultivation in pot condition. The results of the experiment, *Burkholderia ferrariae* PaS2 (1) was showed efficient phosphate - potash solubilization, which was studied with chemical fertilizers in potted pineapple cultivation. It was found that *B. ferrariae* PaS2 (1) was able to reduce the use of chemical fertilizers (phosphate and potash) from 4.20-1.80-3.88 g N-P_2O_5-K_2O/18 kg soil to 4.20-0.90-1.94 g N-P_2O_5-K_2O/18 kg soil (by 50% of the recommended rate) without affecting pineapple flowering, quality (weight and size of fruit) and quality of pineapple (sweetness, sugar concentration and water content). In addition, *B. ferrariae* PaS2 (1) enhanced nutrients uptake by plant and bioavailability of phosphorus and potassium in soil

In the selection of AM fungi that were effective in absorbing nutrients of pineapples. It was found that the highest concentrations and the root colonization percentage of AM fungi isolates were SMZ62-1, SMZ47-5, SMZ79-4, SMZ62-2 and SMZ79-3. All five isolates were selected to use with pineapples in potted conditions. All experiments were applied fertilizer rate at 4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil with AM isolate SMZ79-3 showed the highest nitrogen uptake in all parts, i.e., stem with leaves, root, peel and flesh were 2.430, 0.351, 0.387, 0.298 and 0.305 g per plant, respectively. Furthermore, it showed the maximum phosphorus and potassium uptake values in the stem with leaves and the root. Moreover, it also showed the highest uptake of magnesium in the root and peel. In experiment of augmentation with phosphate – potash solubilizing bacteria and AM fungi. The result showed that the treatment was applied only arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ79-4 and applied arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ79-4 with *B. ferrariae* PaS2(1) were promoted width and length of D-leaf and canopy width such as 3.15, 69.57 and 111.83 cm. Furthermore, the treatment was applied arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ62-1 with *B. ferrariae* PaS2(1) was effective accumulation of nitrogen phosphorus potassium calcium and magnesium content in stem and root of pineapple.

กรมวิทยาศาสตร์

การทดลองที่ 1
การคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในห้องปฏิบัติการ
Selection of Phosphate and Potash Solubilizing Bacteria in Laboratory

สนธยา ขำติ๊บ สุปรานี มั่นหมาย
Sontaya Khamtib, Supanee Munmai

คำสำคัญ (keywords) : การละลายฟอสเฟต (phosphate solubilization) การละลายโพแทช (potash solubilization) จุลินทรีย์ดิน (soil microorganism) สับปะรด (pineapple)

กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

ดินในประเทศไทยส่วนใหญ่ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ การใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทชจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อทดแทนปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช อย่างไรก็ตามฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมบางส่วนจะสูญเสียไป หรืออยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้และสะสมในดิน ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ที่สามารถเปลี่ยนฟอสเฟตและโพแทชที่สะสมในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นโยชน์แก่พืช จะทำให้พืชสามารถใช้ธาตุอาหารในพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถละลายทั้งฟอสเฟตและ โพแทช ซึ่งเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพ โดยคัดเลือกจากแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่ได้จากการคัดแยกใหม่ของตัวอย่างดินรอบรากและรากสับปะรด ในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 49 ไอโซเลท และแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่เก็บรวบรวมไว้ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน จำนวน 6 ไอโซเลท ผลการทดลองพบว่า มีแบคทีเรียเพียง 5 ไอโซเลท ได้แก่ SM-P032, PaS2(1), PaS2(3), PaS2(5) และ PaS11(1) ที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช โดย PaS2(1) มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตบนอาหาร Pikovskaya agar จากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน สูงสุดเท่ากับ 2.8 รองลงมา คือ PaS2(5), PaS2(3), SM-P032 และ PaS11(1) มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตเท่ากับ 2.6, 2.2, 2.1 และ 1.4 ตามลำดับ การละลายโพแทช พบว่า PaS2(1) มีค่าดัชนีการละลายโพแทชบนอาหาร Aleksandrov agar จากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน สูงสุดเท่ากับ 1.5 รองลงมา คือ PaS2(3), SM-P032, PaS2(5) และ PaS11(1) มีค่าดัชนีการละลายโพแทช เท่ากับ 1.2, 1.2, 1.1 และ 1.1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถผลิตสาร indole-3-acetic acid (IAA) โดย SM-P032B ผลิต IAA สูงสุด เท่ากับ 192.60 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ PaS11(1), PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) ผลิต IAA เท่ากับ 68.73, 21.70, 18.46 และ 16.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำแบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท มาจัดจำแนกโดยเปรียบเทียบลำดับ 16s rDNA กับฐานข้อมูลบน GenBank ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี สามารถจัดจำแนกแบคทีเรีย ได้ดังนี้ *Pantoea dispersa* SM-P032, *Burkholderia ferrariae* PaS2(1), *Burkholderia cepacia* PaS2(3), *Burkholderia territorii* PaS2(5) และ *Serratia marcescens* PaS11(1) โดย *P. dispersa* SM-P032 มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหาร

เพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร *B. ferrariae* PaS2(1) มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร *B. cepacia* PaS2(3) มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 5.5 ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร *B. territorii* PaS2(5) มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 5.5 ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร และ *S. marcescens* PaS11(1) มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญ คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 6.0 ความเข้มข้นของกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร จากการทดลองจะเห็นว่ามีเพียง *B. ferrariae* PaS2(1) และ *B. territorii* PaS2(5) ที่มีรายงานความสามารถในการเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสเฟตและโพแทชในดิน และไม่ก่อโรคในพืชและมนุษย์ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำแบคทีเรียดังกล่าวมาพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ปุ๋ยชีวภาพต่อไปได้

Abstract

This study aims to select and identify phosphate-potash solubilizing bacteria from pineapple rhizosphere and pineapple root that potentially develop as bio-fertilizer. Forty-nine isolates of phosphate solubilizing bacteria, collected from pineapple rhizosphere and pineapple root, were selected for phosphate-potash solubilizing bacteria. Five bacteria isolates capable of solubilizing phosphate and potash were SM-P032, PaS2(1), PaS2(3), PaS2(5) and PaS11(1). The phosphate solubilizing and potash solubilizing were tested on Pikovskaya agar and Alexandrov agar respectively. The PaS2(1) showed the highest phosphate solubility index (PSI) and potash solubility index (KSI). In addition, all of the isolates could produce indole-3-acetic acid (IAA). Based on 16S rRNA gene sequence morphology and biochemical analysis, SM-P032, PaS2(1), PaS2(3), PaS2(5) and PaS11(1) were identified as *Pantoea dispersa*, *Burkholderia ferrariae Burkholderia cepacia Burkholderia territorii* and *Serratia marcescens* respectively. The optimum initial pH of *Pantoea dispersa* SM-P032, *Burkholderia ferrariae* PaS2(1), *Burkholderia cepacia* PaS2(3), *Burkholderia territorii* PaS2(5) and *Serratia marcescens* PaS11(1) growth were 7.0, 7.0, 5.5, 5.5 and 6.0 respectively. The optimum glucose concentrations were 10, 10, 20, 20 and 20 g/L respectively.

บทนำ

ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืช ซึ่งในประเทศไทย พบว่า ดินมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำ การใช้ปุ๋ยเคมีที่มีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อทดแทนปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชที่มีอยู่ในปริมาณน้อยในดิน อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยเคมีฟอสฟอรัส ให้กับพืช 75 - 90% ของ ฟอสฟอรัสจะทำปฏิกิริยากับไอออนของ Al^{3+} และ Fe^{3+} เป็นสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟต ได้แก่ อะลูมิเนียมฟอสเฟต และเฟอริกฟอสเฟต ในดินที่มีสภาพเป็นกรด และทำปฏิกิริยากับไอออนของ Ca^{2+} เป็นแคลเซียมฟอสเฟต ในดินที่มีสภาพ

กรมวิชาการเกษตร

เป็นด่าง (Cunningham and Kuiack 1992) ส่วนโพแทสเซียมจะสูญเสียไป หรืออยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้สะสมในดิน การใช้จุลินทรีย์ละลายฟอสเฟตและโพแทช ซึ่งมีความสามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ ทำให้การใช้ประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แบคทีเรียละลายฟอสเฟต เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตโดยสร้างและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ (กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น) (Whitelaw, 2000; Maliha *et al*., 2004) และ/หรือ กรดอนินทรีย์ (กรดไนตริกและกรดซัลฟูริก) (Azam and Memon, 1996) ออกมาเพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดิน เป็นฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในสารละลายดินในรูปโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$) (Frossard *et al*., 1995) ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Flavobacterium*, *Seratia* และ *Micrococcus* เป็นต้น (Son *et al*., 2006) ในประเทศไทยได้มีการศึกษาการนำแบคทีเรียละลายฟอสเฟตมาใช้ร่วมกับการปลูกพืชเพื่อช่วยให้พืชสามารถใช้ฟอสเฟตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนจากการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟต จากการศึกษาของไตรธานี และคณะ (2555) ทดลองใช้แบคทีเรียที่มีกิจกรรมการละลายฟอสเฟตสูงต่อการเจริญเติบโตของอ้อยในสภาพเรือนทดลอง พบว่า การใช้แบคทีเรียชนิดต่าง ๆ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยหินฟอสเฟต ทำให้อ้อยมีการเจริญเติบโตในทุกด้าน และการสะสมธาตุฟอสฟอรัสในลำต้นสูงกว่าอ้อยชุดควบคุม และเกตน์ณนิภา (2557) คัดเลือกเชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการละลายฟอสเฟต นำไปศึกษาผลของแบคทีเรียต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ กข 47 พบว่า ข้าวมีการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง จำนวนใบ ความยาวของราก และน้ำหนักแห้งของลำต้น ซึ่งข้าวที่ปลูกในดินที่มีการเติมเชื้อ *Burkhoderia* sp. และตรึงบนขี้เถ้าแกลบมีการเจริญเติบโตมากที่สุด นอกจากนี้ จีราภรณ์ และคณะ (2556) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ภายใต้การผลิตลำไยอินทรีย์ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ในพื้นที่ของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกของกลุ่มลำไยอินทรีย์จากอำเภอดอยสะเก็ด และอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการใช้เชื้อจุลินทรีย์ร่วมกับหินฟอสเฟตในเขตอำเภอดอยสะเก็ด และการใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายฟอสเฟตส่งผลทำให้ความหวานของลำไยสูงสุด

แบคทีเรียละลายโพแทช เป็นแบคทีเรียที่มีความสามารถ K-minerals เช่น mica illite และ orthoclase ในดินโดยการผลิตและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ หรือการผลิต capsular polysaccharide (Friedrich *et al*., 1991; Sheng and He, 2006) ซึ่งโดยทั่วไป ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Acidothiobacillus*, *Bacillus* และ *Paenibacillus* (Lian *et al*., 2002; Sheng, 2005; Li *et al*., 2006; Liu *et al*., 2012)

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชมีการศึกษาไม่มาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาของต่างประเทศ ซึ่งเป็นการคัดแยกจุลินทรีย์ และทดสอบความสามารถของจุลินทรีย์ละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างของการศึกษา เช่น Hu *et al*. (2006) ได้ทำการคัดแยกจุลินทรีย์จากดินบนภูเขาเทียนมู มณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน ซึ่งจากการทดลองสามารถคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชสูง 2 สายพันธุ์ คือ *Bacillus mucilaginosus* KNP413 และ

กรมวิชาการเกษตร

B. mucilaginosus KNP414 Diep และ Hieu (2013) ทำการคัดแยกจุลินทรีย์จากดินภูเขาฮาเทียน (Ha Tien Mountain) จังหวัดเกียนยาง (Kien Giang Province) ประเทศเวียดนาม ซึ่งสามารถคัดแยกจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด 25 ไอโซเลท และพบว่ามีเพียง 7 ไอโซเลท ที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชได้สูง (มากกว่า 10 มิลลิกรัม P_2O_5 ต่อลิตร และ 50 มิลลิกรัม K_2O ต่อลิตร) ซึ่งผลการจัดจำแนกจุลินทรีย์ทั้ง 7 ไอโซเลท คือ *Microbacterium hominis* DNV16, *Flectobacillus* sp. TC1D, *Agrobacterium tumefasciens* CH9E, *B. cereus* TC1A, *B. cereus* CH7A, *B. subtilis* TD6B และ *B. megaterium* CH7D

ดังนั้นการศึกษาการใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช จึงเป็นการสร้างองค์ความรู้ที่สำคัญต่อการพัฒนาต่อยอดให้อยู่ในรูปปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพในปัจจุบันที่มีความสามารถละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว

ระเบียบวิธีการวิจัย

- สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ได้แก่ pikovskaya broth pikovskaya agar aleksandrow agar nutrient broth nutrient agar และ minimal medium

2. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟต และ Indole-3-acetic acid

3. สารเคมีสำหรับงานอณูชีวิทยา ได้แก่ สีย้อมดีเอ็นเอ ดีเอ็นเอไพรเมอร์ อาการ์โรส TAE buffer TIANamp bacteria DNA kit One PCR ultra mastermix และ PureLink quick PCR purification kit

4. ชุดทดสอบการติดสีแกรม

5. ชุดทดสอบทางชีวเคมีของแบคทีเรีย

6. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ได้แก่ จานเพาะเลี้ยง หลอดไมโครเซนตริฟิวก์ หลอดทดลอง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ แผ่นสไลด์ ลูปเขี่ยเชื้อ หลอดพีซีอาร์ กรวยกรอง กระดาษกรอง และไมโครปิเปตต์ทิป

7. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องชั่งสาร หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง เครื่องบ่มเขย่า ตู้ปลอดเชื้อ สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ เครื่องปั่นเหวี่ยง กล้องจุลทรรศน์ เครื่องเทอโมไซเคิล เครื่องเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส และไมโครปิเปตต์

- วิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างและคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ (Table 1) ที่ระดับความลึก 0 -15 เซนติเมตร บริเวณรอบ ๆ ราก จำนวน 21 ตัวอย่าง และตัวอย่างรากสับปะรด จำนวน 21 ตัวอย่าง ใส่ในถุงพลาสติกขนส่งมายังห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา เพื่อคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟต โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่ปรับสภาพให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต (enrichment technique) โดยชั่งตัวอย่างดินหรือรากสับปะรด 10 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร pikovskaya broth (Pikovskaya, 1948) ปริมาตร 90 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่า ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำ

กรมวิชาการเกษตร

ตัวอย่างมาเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.95 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำตัวอย่างแต่ละระดับความเจือจางมาคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตด้วยเทคนิค spread plate บนอาหาร pikovskaya agar (Pikovskaya, 1948) บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่สร้างโซนใสรอบ ๆ และมีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค cross streak บนอาหาร nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

2. การคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

นำแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่เก็บรวบรวมไว้ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน จำนวน 6 ไอโซเลท (คัดแยกจากดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดตราด) และแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดแยกใหม่ จำนวน 49 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการละลายฟอสเฟตและโพแทช โดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียแต่ละไอโซเลทในอาหาร nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเจือจางความเข้มข้นของเซลล์ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 0.95 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการกระเจิงแสงที่ 600 นาโนเมตร เท่ากับ 0.5 แล้วดูดตัวอย่างแบคทีเรียโดยใช้ไมโครปิเปตต์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร หยดลงบนผิวอาหาร pikovskaya agar (Pikovskaya, 1948) เพื่อทดสอบการละลายฟอสเฟต และอาหาร aleksandrow agar (Aleksandrov *et al*., 1967) เพื่อทดสอบการละลายโพแทช บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีและโซนใส เพื่อคำนวณค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต (phosphate solubilization index) และค่าดัชนีการละลายโพแทช (potash solubilization index) ตามสมการ (1) (Setargie *et al*., 2015)

$$\text{ดัชนีการละลายฟอสเฟตหรือโพแทช} = \frac{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโซนใส}}{\text{เส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี}} \quad (1)$$

3. การทดสอบการผลิต Indole-3-acetic acid (IAA) ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

การวิเคราะห์ปริมาณของ IAA ดำเนินการตามวิธีของ Mamta *et al*. (2010) โดยนำแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกได้มาเลี้ยงในอาหาร minimal medium ที่มี L-tryptophan ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นดูดตัวอย่างแบคทีเรียโดยใช้ไมโครปิเปตต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดไมโครเซนตริฟิวก์ นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Kubota 7000, Kubota Corp., Osaka, Japan) ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกเซลล์แบคทีเรียออกจากอาหารเพาะเลี้ยง ดูดสารละลายส่วนใสโดยใช้ไมโครปิเปตต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง จากนั้นเติม Salkowski's reagent 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน นำไปบ่มในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-1700 Pharma Spec, Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน indole-3-acetic acid ที่มีความเข้มข้น 0 - 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

4. การจัดจำแนกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

เพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในอาหาร nutrient broth ที่อุณหูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นดูดตัวอย่างแบคทีเรียโดยใช้ไมโครปิเปตต์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอด

กรมวิชาการเกษตร

ไมโครเซนตริฟิวก์ นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง (Kubota 7000, Kubota Corp., Osaka, Japan) ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกเซลล์แบคทีเรียออกจากอาหารเพาะเลี้ยงเทสารละลายส่วนใสทิ้ง นำเซลล์แบคทีเรียที่ได้ไปสกัดดีเอ็นเอด้วย TIANamp Bacteria DNA Kit (Tiangen Biotech (Beijing) Co., Ltd., Beijing, China) จากนั้นนำดีเอ็นเอที่สกัดได้ไปเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบริเวณ 16S rRNA gene ของแบคทีเรีย โดยใช้สารเคมีผสม One PCR ultra (GeneDireX Inc., Taiwan) และ universal primer ได้แก่ 27 F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') เป็น forward primer และ 1492R (5'-TACGGYTACCTTGTTACG ACTT-3') เป็น reward primer ดำเนินการในเครื่องเทอโมไซเคิล โดยมีสภาวะในการทำงาน ดังนี้ (1) pre-denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที (2) denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วินาที (3) annealing ที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที (4) extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ดำเนินการซ้ำในขั้นตอนที่ (2) – (4) จำนวน 30 รอบ (5) final extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพีซีอาร์มาทำให้บริสทธิ์ โดยใช้ PureLink Quick PCR Purification kit (Invitrogen, Thermo Fisher Scientific Baltics, UAB) ส่งหาลำดับนิวคลีโอไทด์ที่บริษัท Macrogen Inc. ประเทศเกาหลีใต้ นำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบความเหมือนกับลำดับนิวคลีโอไทด์ในฐานข้อมูล GenkBank บนเว็บไซด์ของ NCBI (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi) ทำการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ด้วยวิธีการ multiple sequences alignment กับตัวอย่างอ้างอิงจากฐานข้อมูล ด้วยโปรแกรม ClustalX2 สร้างความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในรูปแบบแผนภูมิต้นไม้ (Phylogenetic tree) โดยใช้โปรแกรม MEGA 6 และเลือกวิธีการจัดกลุ่มแบบ maximum likelihood การทำ bootstrapping เท่ากับ 1,000 ซ้ำ (Felsenstein, 1985)

5. การศึกษาทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี

การศึกษาทางสัณฐานวิทยาโดยการย้อมสีแกรมแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช เริ่มต้นโดยนำแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชมาทำให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค cross streak บนอาหาร nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ลูปเขี่ยเชื้อแตะโคโลนีแบคทีเรีย จากนั้นเสมียร์ลงบนแผ่นสไลด์ย้อมสีแกรมด้วยสีย้อมแกรม (K001-1KT, Hi Media, Mumbai, India) ตามวิธีการ Hucker method (Doetsch, 1981) นำไปส่องภายใต้กล่องจุลทรรศน์ (Olympus BX43, Olympus, Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า เพื่อตรวจสอบการติดสีแกรมและลักษณะรูปร่างของเซลล์แบคทีเรีย ส่วนการศึกษาทางชีวเคมีของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช ได้แก่ ความสามารถในการใช้น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ความสามารถในการใช้ไลซีน (lysine utilization) ออร์นิทีน (ornithine utilization) กรดซิตริก (citrate utilization) และกรดมาโลนิก (malonate utilization) การสร้างเอนไซน์ oxidase และ urease การย่อยเอสคูลิน (esculin hydrolysis) การผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S production) และความสามารถในกระบวนการไนเตรตรีดักชั่น (nitrate reduction) ด้วยชุดทดสอบทางชีวเคมี (KB003^{TM} Hi25 Enterobacteriaceae Identification Kit, Hi Media, Mumbai, India) ดำเนินการตามวิธีการของชุดทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช โดยแปรผันความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 และความเข้มข้นของน้ำตาล เท่ากับ 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 กรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงแบคทีเรียที่อุณหภูมิห้อง บนเครื่องบ่มเขย่า ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างตรวจนับปริมาณแบคทีเรียด้วยเทคนิค spread plate บนอาหาร nutrient agar และวัดค่าการกระเจิงแสง (optical density; OD) ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-1700 Pharma Spec, Shimadzu, Japan) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร บันทึกผลการเจริญของแบคทีเรีย ณ วันที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน ของการเพาะเลี้ยง

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาทำการทดลอง : ตุลาคม 2560 – กันยายน พ.ศ. 2561

สถานที่ทำการทดลอง : ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟต

จากการนำตัวอย่างดิน และรากสับปะรดในพื้นที่ จังหวัดเพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 42 ตัวอย่าง (Table 1) มาคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตโดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงที่ปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ก่อนนำไป spread บนอาหาร pikovskaya agar และเลือกแบคทีเรียที่มีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกัน พบว่าสามารถคัดแยกแบคทีเรียละลายฟอสเฟตได้ทั้งหมด 49 ไอโซเลท ซึ่งมาจากตัวอย่างดิน จำนวน 31 ไอโซเลท ได้แก่ จากตัวอย่างดิน ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 4 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน ตำบลหินเหล็กไฟ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 5 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 5 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน ตำบลวังก์พง อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 1 ไอโซเลท จากตัวอย่างดิน ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 12 ไอโซเลท และจากตัวอย่างดิน ตำบลหาดขาม อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 4 ไอโซเลท และมาจากตัวอย่างรากสับปะรด จำนวน 18 ไอโซเลท ได้แก่ จากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 3 ไอโซเลท จากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลหินเหล็กไฟ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 4 ไอโซเลท จากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 3 ไอโซเลท จากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลวังก์พง อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 2 ไอโซเลท จากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 4 ไอโซเลท และจากตัวอย่างรากสับปะรด ตำบลหาดขาม อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 2 ไอโซเลท

กรมวิชาการเกษตร

Table 1 Description of phosphate solubilizing bacteria (PSB) isolated from different rhizosphere soil and pineapple root in Phetchaburi and Prachuap Khiri Khan Province

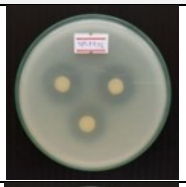
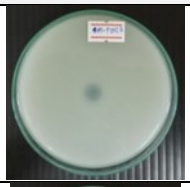
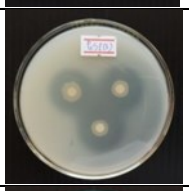
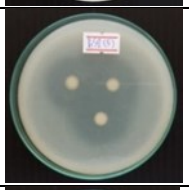
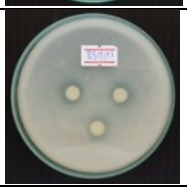
Locations	No. sample	PSB isolates
Pineapple Field, Samphraya Sub District, Cha-am District, Phetchaburi Province	2 soil samples	PaS2(1), PaS2(3), PaS2(4), PaS2(5)
	2 root samples	PaR2(1), PaR2(2), PaR2(3)
Pineapple Field, Hinlekfai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province	3 soil samples	PaS3(2), PaS3(3), PaS4(2), PaS5(2), PaS5(3)
	3 root samples	PaR3(1), PaR3(2), PaR5(1), PaR5(2)
Pineapple Field, Thaptai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province	4 soil samples	PaS6(1), PaS6(2), PaS6(3), PaS6(4), PaS21(1)
	4 root samples	PaR6(1), PaR6(2), PaR6(3)
	1 root samples	PaR7(1), PaR7(2)
Pineapple Field, Wangphong Sub District, Pranburi District, Prachuap Khiri Khan Province	1 soil samples	PaS7(2)
Pineapple Field, Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province	8 soil samples	PaS9(1), PaS9(2), PaS9(6), PaS11(1), PaS12(1), PaS12(2), PaS12(3), PaS13(1), PaS13(2), PaS13(3), PaS14(1), PaS14(2)
	8 root samples	PaR12(1), PaR12(2), PaR15(1), PaR15(2)
Pineapple Field, Hatkham Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province	3 soil samples	PaS18(1), PaS18(2), PaS18(3), PaS18(4)
	3 root samples	PaR17(1), PaR18(1)

2. คัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

จากแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่นำมาทดสอบ จำนวน 54 ไอโซเลท ได้แก่ แบคทีเรียละลายฟอสเฟตจากการเก็บรวบรวมโดยกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน จำนวน 6 ไอโซเลท (SM-P027, SM-P028, SM-P029, SM-P030, SM-P031 และ SM-P032) และแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่คัดแยกใหม่ จำนวน 49 ไอโซเลท พบว่ามีแบคทีเรียละลายฟอสเฟตเพียง 5 ไอโซเลท ที่สามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชได้ คือ SM-P032, PaS2(1), PaS2(3), PaS2(5) และ PaS11(1) โดย PaS2(1) มีความสามารถละลายฟอสเฟตสูงสุด มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตบนอาหาร pikovskaya agar จากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เท่ากับ 2.8 รองลงมา คือ PaS2(5), PaS2(3), SM-P032 และ PaS11(1) มีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟต เท่ากับ 2.6, 2.2, 2.1 และ 1.4 ตามลำดับ การละลายโพแทช พบว่า PaS2(1) มีความสามารถละลายโพแทชสูงสุด มีค่าดัชนีการละลายโพแทชบนอาหาร aleksandrov agar จากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เท่ากับ 1.5 รองลงมา คือ PaS2(3), SM-P032, PaS2(5) และ PaS11(1) มีค่าดัชนีการละลายโพแทช เท่ากับ 1.2, 1.2, 1.1 และ 1.1 ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

Table 2 Phosphate and potash solubilizing activity in Pikrovskaya and Aleksandrow agar by phosphate – potash solubilizing bacteria isolates

Isolates	Phosphate solubilizing **index (PSI)**	Potash solubilizing **index (KSI)**
SM-P032	 PSI = **2.1**	 KSI = **1.2**
PaS2(1)	PSI = **2.8**	KSI = **1.5**
PaS2(3)	 PSI = **2.2**	KSI = **1.2**
PaS2(5)	 PSI = **2.6**	KSI = **1.1**
PaS11(1)	 PSI = **1.4**	KSI = **1.1**

3. การทดสอบการผลิต Indole-3-acetic acid (IAA) ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

ศึกษาการผลิตสาร IAA ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกได้ พบว่า แบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถผลิตสาร IAA ได้ โดย SM-P032 ผลิต IAA สูงสุด เท่ากับ 192.60 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมา คือ PaS11(1), PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) ผลิต IAA เท่ากับ 68.73, 21.70, 18.46 และ 16.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

กรมวิชาการเกษตร

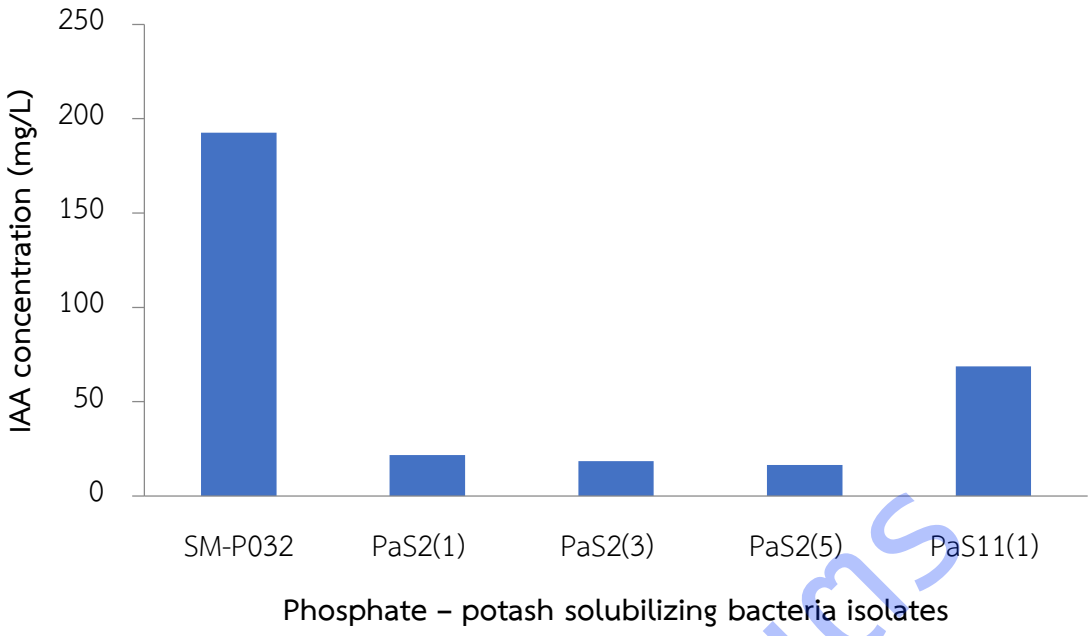


Figure 1 IAA production by phosphate – potash solubilizing bacteria in Minimal medium with 0.1 % of L-tryptophan

4. การจัดจำแนกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

การจัดจำแนกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช อาศัยอนุกรมวิธานระดับโมเลกุลาร์ด้วยการเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ในบริเวณ 16S rRNA gene ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกได้ ซึ่งมีขนาด 1,401 - 1,429 นิวคลีโอไทด์ กับลำดับนิวคลีโอไทด์ที่อยู่ในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้ BLASTn search ผลการทดลองดังแสดงใน Table 3 คือ ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ SM-P032 (1,408 นิวคลีโอไทด์) มีความเหมือน *Pantoea dispersa* VRBG-60 (KR265453.1) ร้อยละ 99.72 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ PaS2(1) (1,435 นิวคลีโอไทด์) มีความเหมือน *Burkholderia ferrariae* NBRC 106233 (AB537487.1) ร้อยละ 99.44 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ PaS2(3) (1,408 นิวคลีโอไทด์) มีความเหมือน *Burkholderia cepacia* NBRC 14074 (NR_113645.1) ร้อยละ 99.40 ลำดับนิวคลีโอไทด์ของ PaS2(5) (1,401 นิวคลีโอไทด์) มีความเหมือน *Burkholderia territorii* LMG 28158 (NR_136496.1) ร้อยละ 99.71 และลำดับนิวคลีโอไทด์ของ PaS11(1) (1,408 นิวคลีโอไทด์) มีความเหมือน *Serratia marcescens* NBRC 102204 (NR_114043.1) ร้อยละ 99.50

เมื่อนำลำดับนิวคลีโอไทด์ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชเปรียบเทียบกับลำดับนิวคลีโอไทด์อ้างอิงจากฐานข้อมูล GenBank โดยวิธีการ multiple sequences alignment ด้วยโปรแกรม ClustalX2 และสร้างความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการในรูปแบบแผนภูมิต้นไม้ (Phylogenetic tree) โดยใช้โปรแกรม MEGA 6 โดยเลือกวิธีการจัดกลุ่มแบบ maximum likelihood การทำ bootstrapping เท่ากับ 1,000 ซ้ำ พบว่า SM-P032 มีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการอย่างใกล้ชิดกับ *Pantoea dispersa* ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียชนิดอื่นในสกุล *Pantoea* (Figure 2) PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) มีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการอย่างใกล้ชิดกับ *Burkholderia ferrariae Burkholderia cepacia* และ *Burkholderia territorii* ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ

กรมวิชาการเกษตร

แบคทีเรียชนิดอื่นในสกุล *Burkholderia* (Figure 3) PaS11(1) มีความสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการอย่างใกล้ชิดกับ *Serratia marcescens* ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียชนิดอื่นในสกุล *Serratia* (Figure 4)

Table 3 Identification of phosphate – potash solubilizing bacteria isolates by 16s rRNA gene

Isolates	No. nucleotide (bp)	Identities (%)	Most closely bacteria species	Accession No.
SM-P032	1,408	99.72	*Pantoea dispersa* VRBG-60	KR265453.1
PaS2(1)	1,429	99.44	*Burkholderia ferrariae* NBRC 106233	AB537487.1
PaS2(3)	1,408	99.40	*Burkholderia cepacia* NBRC 14074	NR_113645.1
PaS2(5)	1,401	99.71	*Burkholderia territorii* LMG 28158	NR_136496.1
PaS11(1)	1,408	99.50	*Serratia marcescens* NBRC 102204	NR_114043.1

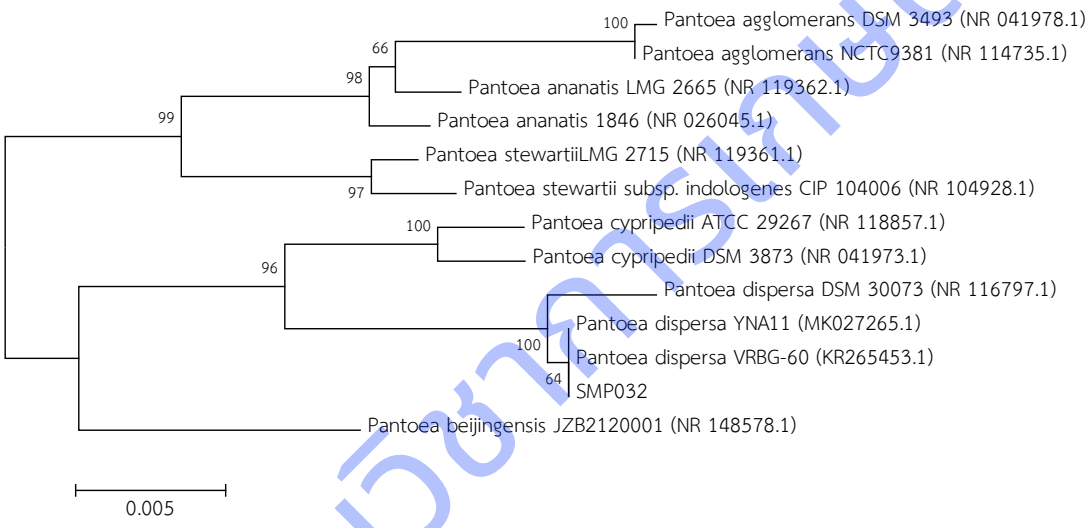


Figure 2 Phylogenetic trees showing the relationship between strain SM-P032 and related species based on 16S rRNA gene. The bar corresponds to a 0.5 % difference in nucleotide sequence. The numbers shown next to the nodes indicate percent bootstrap values from 1,000 iterations.

กรมวิชาการเกษตร

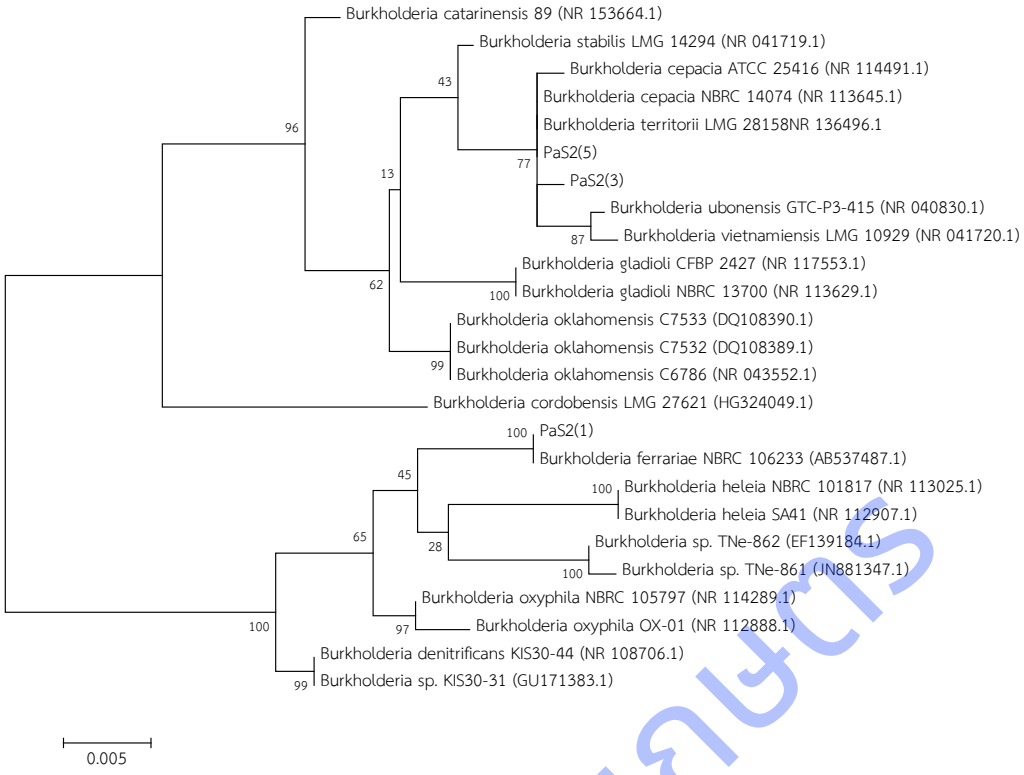


Figure 3 Phylogenetic trees showing the relationship between strain PaS2(1), PaS2(3), PaS2(5) and related species based on 16S rRNA gene. The bar corresponds to a 0.5 % difference in nucleotide sequence. The numbers shown next to the nodes indicate percent bootstrap values from 1,000 iterations.

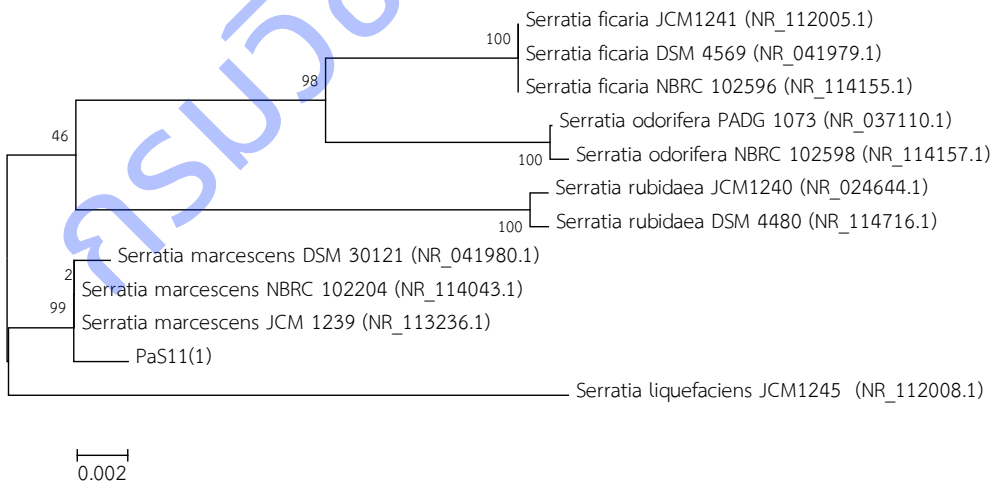


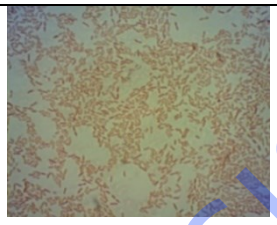
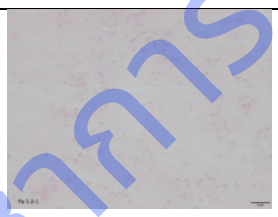
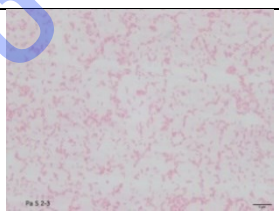
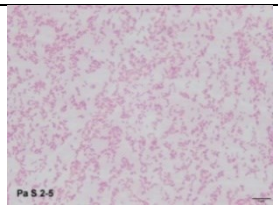
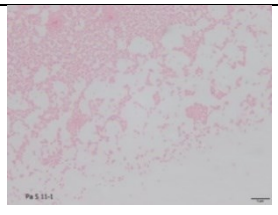
Figure 4 Phylogenetic trees showing the relationship between strain PaS11(1) and related species based on 16S rRNA gene. The bar corresponds to a 0.2 % difference in nucleotide sequence. The numbers shown next to the nodes indicate percent bootstrap values from 1,000 iterations.

กรมวิชาการเกษตร

5. การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมี

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาเบื้องต้น โดยการย้อมสีแบคทีเรียด้วยคริสตอลไวโอเลต (Crystal violet) และซาฟรานิน (Safranin) เพื่อจำแนกชนิดของแบคทีเรียตามการติดสีแกรม และลักษณะรูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่า แบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท เป็นแบคทีเรียแกรมลบ เนื่องจากติดสีแดงของ safranin โดย SM-P032, PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) มีรูปร่างเป็นท่อนยาว ส่วน PaS11(1) มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ๆ (Table 4)

Table 4 Gram stains of phosphate – potash solubilizing bacteria isolates were cultured on nutrient agar at 37 °C for 24 hr

Phosphate – potash solubilizing bacteria	**Gram stains results**	
Pantoea dispersa SM-P032		**Gram stain :** negative **Cell shape :** Bacilli
Burkholderia ferrariae PaS2(1)		**Gram stain :** negative **Cell shape :** Bacilli
Burkholderia cepacia PaS2(3)		**Gram stain :** negative **Cell shape :** Bacilli
Burkholderia territorii PaS2(5)		**Gram stain :** negative **Cell shape :** Bacilli
Serratia marcescens PaS11(1)		**Gram stain :** negative **Cell shape :** Bacilli

กรมวิชาการเกษตร

การศึกษาทางชีวเคมีของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชแสดงใน Table 5 ซึ่งจะพบว่าแบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถใช้น้ำตาลแซ็กคาโรส และ กลูโคส ในการเจริญได้ แต่ไม่สามารถใช้น้ำตาลเมลิโบโอสได้ นอกจากนั้นยังพบว่า SM-P032, PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) สามารถใช้น้ำตาล pentose ได้แก่ น้ำตาลอะราบิโนส และไซโลสได้ แรมโนส มีเพียง SM-P032 ที่สามารถใช้ได้ น้ำตาลเซลโลไบโอส มีเพียง PaS2(1) และ PaS2(3) ที่สามารถใช้ได้ น้ำตาลราฟฟิโนส มีเพียง PaS11(1) ที่สามารถใช้ได้ น้ำตาลทรีฮาโลส มีเพียง SM-P032 และ PaS11(1) ที่สามารถใช้ได้ และน้ำตาลแลคโตสมี PaS2(3) และ PaS2(5) ที่สามารถใช้ได้ ส่วนความสามารถทางชีวเคมีอื่น ๆ ของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกได้ พบว่า แบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท สามารถการสร้างเอนไซน์ urease มีกิจกรรมของกระบวนการไนเตรตรีดักชั่น (nitrate reduction) และสามารถใช้กรดซิตริก (citrate utilization) ได้ แต่ไม่พบการผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S production) ของแบคทีเรียทั้ง 5 ไอโซเลท นอกจากนี้ยังพบว่า PaS2(1), PaS2(3) และ PaS2(5) สามารถสร้างเอนไซน์ oxidase แต่มีเพียง PaS2(3) และ PaS2(5) ที่สามารถใช้กรดมาโลนิก (malonate utilization) ส่วนการย่อยเอสคูลิน (esculin hydrolysis) และใช้ออร์นิทีน (ornithine utilization) พบเพียง PaS11(1) ที่มีความสามารถดังกล่าว และมีเพียง SM-P032 ที่สามารถใช้ไลซีน (lysine utilization)

Table 5 Biochemical characteristics of phosphate – potash solubilizing bacteria isolates

Biochemical characteristics	SM-P032	PaS2(1)	PaS2(3)	PaS2(5)	PaS11(1)
Aarabinose	+	+	+	+	-
Xylose	+	+	+	+	-
Rhamnose	+	-	-	-	-
Cellobiose	-	+	+	-	-
Melibiose	-	-	-	-	-
Saccharose	+	+	+	+	+
Raffinose	-	-	-	-	+
Trehalose	+	-	-	-	+
Glucose	+	+	+	+	+
Lactose	-	-	+	+	-
Esculin hydrolysis	-	-	-	-	+
Oxidase	-	+	+	+	-
Lysine utilization	-	+	+	+	+

กรมวิชาการเกษตร

Table 5 cont.

Biochemical characteristics	SM-P032	PaS2(1)	PaS2(3)	PaS2(5)	PaS11(1)
Ornithine utilization	-	-	-	-	+
Urease	+	+	+	+	+
Nitrate reduction	+	+	+	+	+
H_2S production	-	-	-	-	-
Citrate utilization	+	+	+	+	+
Malonate utilization	-	-	+	+	-

หมายเหตุ : + แบคทีเรียสามารถใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโต หรือ มีกิจกรรมที่ทดสอบ

- แบคทีเรียไม่สามารถใช้น้ำตาลในการเจริญเติบโต หรือ ไม่มีกิจกรรมที่ทดสอบ

6. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

การหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช เป็นการหาค่าความเป็นกรด-ด่าง เริ่มต้น และเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส ที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช ซึ่งศึกษาทีละปัจจัย (one factor at a time; OFAC) เริ่มต้นศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงต่อการเจริญของแบคทีเรีย โดยใช้อาหาร Nutrient broth ที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร แปรผันค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหาร เท่ากับ 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 และ 7.0 บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 – 33 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษาพบว่า ไอโซเลท SM-P032 และ PaS2(1) เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 7.0 (Figure 5) ขณะที่ไอโซเลท PaS2(3) และ PaS2(5) เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 5.5 (Figure 5) ส่วนไอโซเลท PaS11(1) เจริญได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง เท่ากับ 6.0 (Figure 5)

ศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช โดยใช้อาหาร nutrient broth ที่ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงให้เท่ากับค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช แต่ละไอโซเลท แปรผันความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 10 15 20 25 30 35 และ 40 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง (25 – 33 องศาเซลเซียส) ผลการศึกษาพบว่า ไอโซเลท SM-P032 และ PaS2(1) เจริญได้ดีที่ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 10 กรัมต่อลิตร (Figure 6) ขณะที่ไอโซเลท PaS2(3), PaS2(5) และ PaS11(1) เจริญได้ดีที่ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร (Figure 6)

กรมวิชาการเกษตร

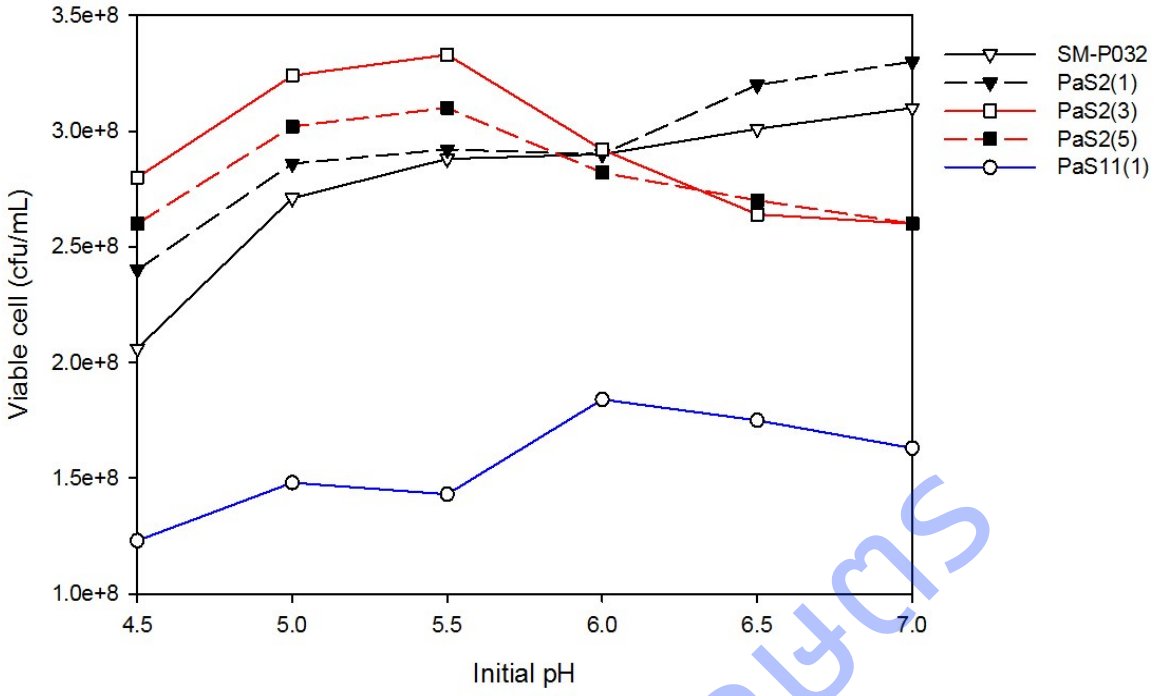


Figure 5 Effect of initial pH on growth of phosphate – potash solubilizing bacteria isolates

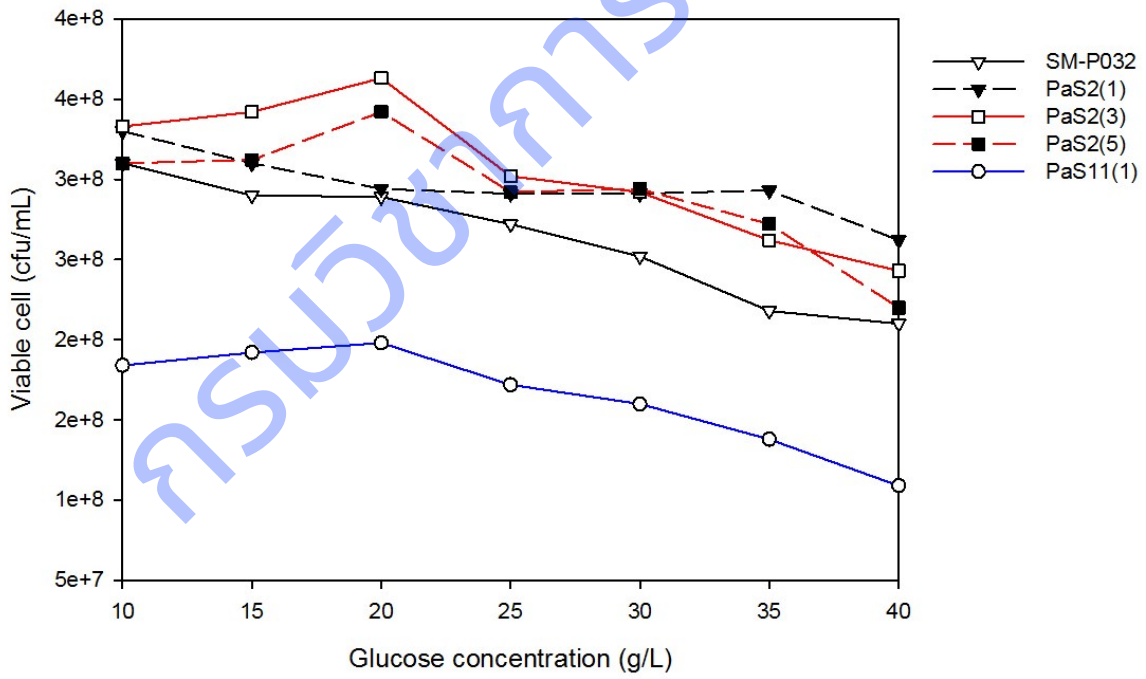


Figure 6 Effect of glucose concertation on growth of phosphate – potash solubilizing bacteria isolates

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชจากแบคทีเรียละลายฟอสเฟตที่เก็บรวบรวมไว้ของกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน และที่ได้จากการคัดแยกใหม่จากตัวอย่างดิน และรากสับปะรดในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ สามารถคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช ได้ 5 ไอโซเลท คือ *Pantoea dispersa* SM-P032, *Burkholderia ferrariae* PaS2(1), *Burkholderia cepacia* PaS2(3), *Burkholderia territorii* PaS2(5) และ *Serratia marcescens* PaS11(1)

2. สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *P. dispersa* SM-P032 คือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ ของ *B. ferrariae* PaS2(1) คือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *B. cepacia* PaS2(3) คือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 5.5 ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร สภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *B. territorii* PaS2(5) คือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 5.5 ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร และสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *S. marcescens* PaS11(1) คือ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 6.0 ความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคส 20 กรัมต่อลิตร

3. จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช 2 ไอโซเลท ได้แก่ *B. cepacia* PaS2(3) และ *S. marcescens* PaS11(1) ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของเชื้อโรคที่มีความเสี่ยงปานกลางหรืออันตรายปานกลาง ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง รายการเชื้อโรคที่ประสงค์ควบคุมตามมาตรา 18 ดังนั้นจะเหลือเพียง *P. dispersa* SM-P032, *B. ferrariae* PaS2(1) และ *B. territorii* PaS2(5) ที่สามารถนำไปศึกษาต่อได้

เอกสารอ้างอิง

เกตุอร ทองเครือ. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรดระบบเกษตรอินทรีย์. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

จีราภรณ์ อินทสาร ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และ จักรพงษ์ไชยวงศ์. 2556. การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ภายใต้การผลิตลำไยอินทรีย์ [ออนไลน์].

ไตรธานี เยี่ยมอ่อน นันทวัน ฤทธิเดช ประสิทธิ์ ใจศิล และโสภณ บุญลือ. 2555. การส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ในสภาพเรือนทดลอง: แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 3: 185-193

สุปรานี มั่นหมาย ภาวนา ลิกขนานนท์ และอธิปัตย์ คลังบุญครอง. 2558. การจัดการธาตุอาหารพืชโดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ดินเพื่อการผลิตอ้อย. ผลการปฏิบัติงานประจำงบปีประมาณ 2558 หน้า 160 - 171. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

Aleksandrov, V.G., R.N. Blagodyr and I.P. Liiev. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. Mikrobiology Zh (Kiev). 29: 111-114.

กรมวิชาการเกษตร

Azam, F. and G.H. Memon. 1996. Soil organisms. Pages. 200–232. In: E. Bashir and R. Bantel., (eds.) Soil science. National Book Foundation, Islamabad.

Cunningham, J.E. and C. Kuiack, 1992. Production of citric and oxalic acids and solubilization of calcium phosphate by *Penicillium bilaii*. Applied and Environmental Microbiology. 58: 1451-1458.

Diep, C.N. and T.N. Hieu. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province, Vietnam. American Journal of Life Sciences. 1: 88-92.

Doetsch, R.N. 1981. Determinative methods of light microscopy. In: Gerhardt P, editor. Manual of methods for general bacteriology. Washington, DC: American Society for Microbiology;. P 29-30.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. Evolution. 39: 783-791.

Friedrich, S., N.P. Platonova, G.I. Karavaiko, E. Stichel and F. Glombitza, 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnologica. 11: 187-196.

Frossard, E.; M. Brossard; M.J. Hedley and A. Metherell. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils. Pages. 107–138. In: H. Tiessen., (eds.) Phosphorus in the Global Environment. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, U.K.

Hu, X., J. Chen and J. Guo, 2006. Two phosphate- and potassium-solubilizing bacteria Isolated from Tianmu mountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 22 (9): 983-990.

Li, F.C., S. Li, Y.Z. Yang and L.J. Cheng, 2006. Advances in the study of weathering products of primary silicate minerals, exemplified by mica and feldspar. Acta Petrologica Mineralogica. 25: 440-448.

Lian, B., P.Q. Fu, D.M. Mo and C.Q. Liu, 2002. A comprehensive review of the mechanism of potassium releasing by silicate bacteria. Acta Mineralogica Sinica. 22: 179-183.

Liu, D., B. Lian and H. Dong, 2012. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. Geomicrobiology Journal. 29: 413-421.

Maliha, R.; K. Samina; A. Najma; A. Sadia and L. Farooq. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 187–196.

ลิขสิทธิ์การใช้งาน

Mamta, R.P., V. Pathania, A. Gulati, B. Singh, R.K. Bhanwra and R. Tewari, 2010. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing bacteria on plant growth, stevioside and rebaudioside-A contents of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Applied Soil Ecology. 46: 222-229.

Pikovskaya, R.I. 1948. Mobilization of phosphorous in soil in connection with vital activity of some microbial species. Microbiologiya. 17: 362-370.

Setargie, A., S. Tilahun, S. Alemayehu, T. Dejenie and S. Kiros, 2015. Isolation and phenotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria from lentil (*Lens culnaris.*) rhizosphere soils from Southern parts of Tigray, Ethiopia. International Journal of Microbiological Research. 6: 188-194.

Sheng, X.F. and L.Y. He, 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology. 52: 66-72.

Sheng, X.F., 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. Soil Biology and Biochemistry. 37: 1918-1922.

Son, H.J., G.T. Park, M.S. Cha and M.S. Heo, 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. Bioresource Technology. 97: 204-210.

Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. Advances in Agronomy. 69: 99–151.

กรมวิชาการเกษตร

การทดลองที่ 2

การศึกษาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่คัดเลือกไว้กับสับปะรดในสภาพกระถาง

Effect of Phosphate - Potash Solubilizing Bacteria on Growth and Yield of Pineapple in Pot Experiment

สนธยา ขำติ๊บ สุปรานี มั่นหมาย กิตจเมธ แจ้งศิริกุล

Sontaya Khamtib, Supanee Munmai, Kitjamate Jangsirikul

คำสำคัญ (keywords) : จุลินทรีย์ดิน (soil microorganism) ปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) เบอร์โคเดอเรีย (*Burkholderia*) การละลายฟอสเฟต (phosphate solubilization) การละลายโพแทช (potash solubilization)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีในการปลูกสับปะรด วางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorials ที่จัดในรูปแบบ RCB มีปัจจัยที่ 1 คือ การแช่ และไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช 4 ระดับ ได้แก่ 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91, 4.20-0.90-1.94 และ 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้หน่วยการทดลองละ 10 กระถาง ผลการทดลองใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความสูงและความกว้างทรงพุ่มของสับปะรด พบว่าทุกกรรมวิธีทดสอบมีความสูงและความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับความกว้างและความยาวของใบ D-leave ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทุกกรรมวิธีทดสอบ อย่างไรก็ตามการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับปุ๋ยเคมี สามารถลดอัตราการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทชลงร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ คือ ลดลงจากอัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม เป็น 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการติดดอก และผลผลิตของสับปะรดทั้งปริมาณผลผลิต (น้ำหนักผล และขนาดผล) และคุณภาพผลผลิต (ความหวาน ความเข้มข้นน้ำตาล และความฉ่ำ) นอกจากนี้การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี ยังมีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ต้นรวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล และช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสที่ และโพแทสเซียมในดินด้วย

สงวนลิขสิทธิ์ของกรมวิชาการเกษตร

Abstract

This study aims to develop technology to use phosphate - potash solubilizing bacteria *Burkholderia ferrariae* PaS2 (1) with chemical fertilizer for pineapple production. The experimental design was 2 × 4 factorial in RCB. The first factor was soaking suckers with *B. ferrariae* PaS2(1) and the second factor was chemical fertilizer rate (4.20- 1.80-3.88, 4.20- 1.35-2.91, 4.20- 0.90-1.94 and 4.20- 0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/18 kg soil) with 3 replicates. The result showed that combination use of *B. ferrariae* PaS2 (1) biofertilizers and chemical fertilizers has not improved significantly pineapple growth (height and canopy) and D-leave component (width and length). However, *B. ferrariae* PaS2 (1) was able to reduce the use of chemical fertilizers (phosphate and potash) from 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/18 kg soil to 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$/18 kg soil (by 50% of the recommended rate) without affecting pineapple flowering, quality (weight and size of fruit) and quality of pineapple (sweetness, sugar concentration and water content). In addition, *B. ferrariae* PaS2 (1) enhanced nutrients uptake by plant and bioavailability of phosphorus and potassium in soil

บทนำ

สับปะรด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตสับปะรดได้ในระดับต้น ๆ ของโลกก็ตาม หากเปรียบเทียบผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในระดับที่ต่ำมาก คือ 3,880 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่คอสตาริกา บราซิล และฟิลิปปินส์ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก เท่ากับ 9,555 6,289 และ 6,468 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกให้สูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิต จะทำให้สับปะรดของไทยมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้สูงขึ้น โดยปกติสับปะรดเป็นพืชที่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินแทบทุกชนิดที่ระบายน้ำดี ได้แก่ ดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินปนลูกรัง ดินทรายชายทะเล มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ของดินควรเป็นกรดเล็กน้อย คือตั้งแต่ 4.5–5.5 (เกตุอร, ม.ป.ป.) ซึ่งดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะมีอัตราการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืชสูง ส่วนโพแทสเซียมจะสูญเสียไปและ/หรืออยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้สะสมในดิน เกษตรกรจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้งที่ทำการเพาะปลูกสับปะรด และเพิ่มปริมาณขึ้นทุกปี ทำให้ต้นทุนในการผลิตสับปะรดสูงขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนธาตุอาหารจากรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์สามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ย และลดต้นทุนในการผลิตสับปะรดได้

การใช้จุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ทางการเกษตร เช่น **แบคทีเรียละลายฟอสเฟต** ซึ่งมีความสามารถละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตโดยสร้างและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ (กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรพิโอนิก เป็นต้น) (Whitelaw, 2000; Maliha *et al*., 2004) และ/หรือ กรดอนินทรีย์ (กรดไนตริกและกรดซัลฟูริก) (Azam and Memon, 1996) ออกมาเพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดิน เป็นฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในสารละลายดินในรูปโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{2-}) และไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$)

กรมวิชาการเกษตร

(Frossard *et al*., 1995) และ**แบคทีเรียละลายโพแทช** ซึ่งสามารถละลาย K-minerals เช่น mica illite และ orthoclase ในดินโดยการผลิตและปลดปล่อยกรดอินทรีย์ หรือการผลิต capsular polysaccharide (Friedrich *et al*., 1991; Sheng and He, 2006) ทำให้ธาตุอาหารพืชดังกล่าวปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดการสะสมธาตุอาหารพืชในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ในดิน และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชได้

Burkholderia ferrariae เป็นแบคทีเรียที่มีศักยภาพในการละลายฟอสเฟตสูง (Valverde *et al*., 2006) สามารถละลายฟอสเฟตได้หลากหลายชนิด เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) อลูมิเนียมฟอสเฟต ($AlPO_4$) และเทอร์ควอยซ์ ($CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8{\cdot}5H_2O$) โดยการสร้างและปลดปล่อยกรดกลูโคนิก กรด 2-คีโตนกลูโคนิก กรดอะซิติก และกรดซิตริก ทำให้ค่าความเป็นกรดด่างรอบ ๆ เซลล์แบคทีเรียลดลง 4.04 – 5.53 และเกิดการละลายฟอสเฟตที่สะสมในดิน (Delvasto *et al*., 2008) ดังนั้นการนำ *B. ferrariae* มาใช้ร่วมกับการผลิตสับปะรด ซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่างของดินตั้งแต่ 4.5–5.5 จึงมีความเป็นไปได้

ในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชมีการศึกษาไม่มาก โดยส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาของต่างประเทศ ซึ่งเป็นการคัดแยกจุลินทรีย์ และทดสอบความสามารถของจุลินทรีย์ละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการศึกษาการใช้แบคทีเรียที่มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช จึงเป็นการสร้างองค์ความรู้ที่สำคัญต่อการพัฒนาต่อยอดให้อยู่ในรูปปุ๋ยชีวภาพ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพในปัจจุบัน ที่มีความสามารถละลายฟอสเฟตเพียงอย่างเดียว

ระเบียบวิธีการวิจัย

- สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1. แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช *Burkholderia ferrariae* PaS2(1)
2. หน่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย
3. วัสดุการเกษตร ได้แก่ กระถางพลาสติก 15 นิ้ว ป้ายแปลงพลาสติก สายยาง ฯลฯ
4. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
5. สารเคมีทางการเกษตร ได้แก่ แคลเซียมคาร์ไบด์ และอีทีฟอน
6. อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ได้แก่ pikovskaya broth, pikovskaya agar, aleksandrov medium, nutrient agar และ potato dextrose agar
7. สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) กรดไนตริก (HNO_3) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4){\cdot}6H_2O$) สตรอนเทียมคลอไรด์ ($SrCl_2{\cdot}6H_2O$) แอมโมเนียมฟลูออไรด์ ($NH_4F$) เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4{\cdot}7H_2O$) คอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4{\cdot}5H_2O$) โซเดียมฟลูออไรด์ (NaF) แอมโมเนียมเมตาวานาเดท (NH_4VO_3) แอมโมเนียมโมลิบเดต ($(NH_4)_6Mo_7O_{24}{\cdot}4H_2O$) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) แอมโมเนียมอะซิเตท ($C_2H_7NO_2$) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)

กรมวิชาการเกษตร

แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ซีลีเนียมมิกซ์เจอร์ ฟีแนนโทรลีนอินดิเคเตอร์ เอทานอล กรดบอริก ฟีนอล น้ำตาลกลูโคส ฯลฯ

8. วัสดุและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ได้แก่ จานเพาะเลี้ยง (petri dish) หลอดทดลอง (test tube) กระบอกตวง (cylinder) บีกเกอร์ (beaker) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask) กรวยกรอง (funnel) บิวเรต (buret) ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ปิเปตแก้ว (pipette) กระดาษกรอง (filter paper) ฯลฯ

9. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องชั่งสาร (balance) หม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง (autoclave) ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ตู้ดูดไอสารเคมี (fume hood) เครื่องบ่มเขย่า (incubator shaker) เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) เครื่องให้ความร้อน (hotplate) สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS spectrophotometer) เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) เครื่องย่อยตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธีคเจลดาห์ล (Kjeldahl digestion furnace) ฯลฯ

- วิธีการ

1. การสำรวจคุณสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์

เก็บตัวอย่างดินรวม (composite sample) ในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ ที่ระดับความลึก 0 - 20 เซนติเมตร จำนวน 18 แปลง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ด้วยเครื่อง pH meter ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 อินทรียวัตถุ (organic matter) วิเคราะห์ด้วยวิธีของ Walkley and Black (1934) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) โดยย่อยดินด้วยกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น ($HClO_4$) จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยวัดการเกิดสีกับสารละลาย vanadomolybdate ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Tandon *et al*., 1968) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (available phosphorus) สกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัสโดยวัดการเกิดสีกับสารละลาย molybdenum blue ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Bray and Kurtz, 1945) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) โดยสกัดดินด้วย 1N ammonium acetate, pH 7 แล้ววัดด้วย flame spectrophotometer (Peech *et al*., 1947)

2. การเตรียมแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช

แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่ใช้ในการทดลอง คือ *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) ซึ่งแบคทีเรียที่คัดแยกมาจากตัวอย่างดินรอบรากสับปะรดจากแปลงสับปะรด ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี มีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช โดยมีค่าดัชนีการละลายฟอสเฟตบนอาหารแข็ง pikovskaya agar และค่าดัชนีการละลายโพแทชบนอาหารแข็ง aleksandrov agar จากการบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน เท่ากับ 2.8 และ 1.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถผลิตสาร IAA เท่ากับ 21.70 มิลลิกรัมต่อลิตร การเตรียม *B. ferrariae* PaS2(1) เริ่มต้นโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร NA ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกเซลล์แบคทีเรีย

กรมวิชาการเกษตร

ออกจากอาหารเพาะเลี้ยง จากนั้นนำเซลล์แบคทีเรียที่ได้ผสมกับวัสดุพา คือ ผงซีโอไลท์และแป้งมันสำปะหลัง (อัตราส่วน 2:1) ให้ได้ปริมาณแบคทีเรีย 10^8 เซลล์ต่อกรัม โดยประมาณ

3. การเตรียมดินที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองใช้ดินจากแปลงสับปะรดของเกษตรกรใน ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเตรียมโดยการไถและคลุกผสมดินด้วยรถแทรกเตอร์ เพื่อให้มีคุณสมบัติก่อนทำการทดลองใกล้เคียงกัน ซึ่งคุณสมบัติของดินก่อนทำการทดลองดังแสดงใน Table 1 คือ มีเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (Loamy Sand; LS) มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4.85 มีอินทรียวัตถุ ร้อยละ 0.64 ฟอสฟอรัสทั้งหมด 49.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 5.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 56.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งจากคุณสมบัติของดินสามารถกำหนดอัตราการใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของ กรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2553) คือปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่ 1/4N+1/2P+1/4K รองก้นหลุม ครั้งที่ 2 ใส่ 1/4N+1/2P+1/4K หลังปลูก 1-3 เดือน ใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น และครั้งที่ 3 ใส่ 1/2N+1/2K หลังปลูก 6 เดือน ใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น

Table 1 General characteristics of soils before planting

Soil depth (cm)	Soil texture	pH 1:1 (soil : water)	OM (%)	Total P (mg/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
0-20	Loamy sand	4.85	0.64	49.76	5.87	56.90

4. การศึกษาผลการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดในสภาพกระถาง

การศึกษาผลการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดในสภาพกระถาง วางแผนการทดลองแบบ 2×4 factorial ที่จัดในรูปแบบ RCB มีปัจจัยที่ 1 คือ การแช่ และไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณปุ๋ยฟอสเฟตและโพแทช 4 ระดับ ได้แก่ 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91, 4.20-0.90-1.94 และ 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ใช้หน่วยการทดลองละ 10 กระถาง กรรมวิธีทดสอบมีทั้งหมด 8 กรรมวิธี คือ

T1 = ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T2 = ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T3 = ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

กรมวิชาการเกษตร

T4 = ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T5 = แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T6 = แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T7 = แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

T8 = แช่หน่อพันธุ์สับปะรดใน *B. ferrariae* PaS2(1) + ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม

การทดลองใช้กระถางพลาสติกขนาด 15 นิ้ว ใช้ดิน 18 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมตามกรรมวิธีของแผนการทดลอง คัดเลือกหน่อสับปะรดที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นแบ่งหน่อสับปะรดเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปแช่สารแขวนลอยแบคทีเรียละลาย อีกส่วนไม่ต้องแช่สารแขวนลอยแบคทีเรีย (ตามกรรมวิธีของแผนการทดลอง) จากนั้นนำหน่อสับปะรดที่เตรียมไว้ปลูกลงในกระถาง การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 ตามกรรมวิธีของแผนการทดลอง หลังปลูก 1-3 เดือน โดยใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น การใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 ใส่ปุ๋ย 21-0-0 และ 0-0-60 หลังปลูก 6 เดือน โดยใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น ดูแลกำจัดวัชพืช และให้น้ำในฤดูแล้ง เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของสับปะรด ได้แก่ ความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ความกว้างของใบ D-Leave และความยาวของใบ D-Leave เมื่อปลูกสับปะรดอายุได้ 9 เดือน บังคับการออกดอกด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ โดยทำการหยอดแคลเซียมคาร์ไบด์ ปริมาณ 1 กรัมต่อต้น ในช่วงเวลาเย็น และทำการหยอดแคลเซียมคาร์ไบด์ซ้ำอีกรอบ ปริมาณ 1 กรัมต่อต้น หลังจากหยอดครั้งแรก 2 วัน เก็บเกี่ยวผลผลิต หลังบังคับการออกดอก 4 - 5 เดือน เก็บข้อมูลผลผลิตสับปะรด ได้แก่ น้ำหนักผลสด และคุณภาพของสับปะรด ได้แก่ ค่าความหวาน ความเป็นกรด-ด่าง และความฉ่ำ

5. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในส่วนประกอบต่าง ๆ ของสับปะรด

สุ่มเก็บตัวอย่างสับปะรด กรรมวิธีละ 2 กระถาง แยกส่วนประกอบของสับปะรดออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ราก ต้นรวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล ล้างทำความสะอาดผึ่งให้แห้ง ชั่งน้ำหนักสด จากนั้นนำตัวอย่างสับปะรดอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 - 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 วัน ชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างพืช เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (N) ด้วยวิธี Kjeldahl ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส (P) โพแทสเซียม (K) แคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ย่อยตัวอย่างพืชด้วยกรดผสมกรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก ($HClO_4$: HNO_3) อัตราส่วน 1 : 2 กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 นำตัวอย่างที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยวัดการเกิดสีกับสารละลาย vanadomolybdate ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม (atomic absorption spectrophotometer) คำนวณปริมาณธาตุอาหารที่ดูดใช้ของสับปะรดจากน้ำหนักแห้งของพืช และความเข้มข้นของธาตุอาหารที่วิเคราะห์ได้ ตามสมการ

กรมวิชาการเกษตร

ปริมาณธาตุอาหารที่ดูดใช้ = (น้ำหนักแห้งของพืช × ความเข้มข้นของธาตุอาหาร)
100

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาทำการทดลอง: ตุลาคม 2561 – กันยายน 2563

สถานที่ทำการทดลอง : ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน
ห้องปฏิบัติการกลุ่มงานวิจัยเคมีดิน
พื้นที่เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. คุณสมบัติทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์

จากการสำรวจเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 18 แปลง เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) อินทรียวัตถุ (organic matter) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (total phosphorus) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) พบว่า ดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ (Table 2) มีความเป็นกรด-ด่างของดิน เป็นกรดจัด (อยู่ในช่วง 3.41 - 4.85) ยกเว้นตัวอย่างดินของแปลงสับปะรด ตำบลหาดขาม อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (N 12° 4' 42" E 99° 41' 39") (Table 2 : No. 14) มีความเป็นกรด-ด่างของดิน เป็นกลาง (7.04) อินทรียวัตถุ อยู่ในช่วงร้อยละ 0.55 - 1.47 ฟอสฟอรัสทั้งหมดอยู่ในช่วง 41.33 - 227.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ อยู่ในช่วง 5.80 - 74.11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ อยู่ในช่วง 25.20 - 467.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Table 2 Soil characteristics of pineapple cultivation area in Phetchaburi and Prachuapkhirikhan province

No.	Locations	pH	OM (%)	Total P (mg/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
1	Huaisainuea Sub District, Cha-am District, Phetchaburi Province (N 12° 43' 12.8" E 99° 52' 28")	4.29	0.67	98.21	17.90	25.20
2	Samphraya Sub District, Cha-am District, Phetchaburi Province (N 12° 43' 31" E 99° 55' 26")	4.44	0.55	86.12	8.63	27.47
3	Hinlekfai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 34' 57" E 99° 49' 16")	3.72	1.16	54.37	11.94	71.27
4	Hinlekfai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 34' 6" E 99° 49' 18")	3.84	0.56	62.10	9.13	42.53

กรมวิชาการเกษตร

Table 2 cont.

No.	Locations	pH	OM (%)	Total P (mg/kg)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
5	Thaptai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 32' 29" E 99° 50' 57")	3.88	0.67	142.60	63.00	212.13
6	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 10' 38" E 99° 50' 39")	4.23	1.22	41.33	9.62	106.53
7	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 11' 3" E 99° 46' 30")	3.60	1.01	101.26	28.22	467.67
8	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 11' 21" E 99° 46' 31")	3.55	1.00	178.80	65.61	130.93
9	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 12' 19" E 99° 48' 33"	4.75	0.58	93.15	8.27	65.23
10	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 11' 42" E 99° 47' 51")	3.41	1.26	167.90	31.38	65.37
11	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 11' 35" E 99° 48' 46")	3.57	0.72	119.16	26.79	41.67
12	Hatkham Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 6' 14" E 99° 45' 42")	3.58	0.66	49.37	5.80	90.43
13	Hatkham Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 6' 15" E 99° 45' 41")	3.65	0.92	97.29	24.94	87.60
14	Hatkham Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 4' 42" E 99° 41' 39")	7.04	0.84	98.47	32.87	193.40
15	Thaptai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 28' 21" E 99° 53' 38")	4.31	0.68	227.06	74.11	143.33
16	Thaptai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 31' 5" E 99° 52' 44")	4.14	0.68	157.11	52.89	108.77
17	Thaptai Sub District, Huahin District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 32' 25" E 99° 52' 32")	4.03	0.79	47.06	14.78	93.07
18	Samkrathai Sub District, Kuiburi District, Prachuap Khiri Khan Province (N 12° 20' 52" E 99° 79' 51")	4.85	0.64	49.76	5.87	56.90

2. ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสับปะรด

2.1 ความสูงและความกว้างทรงพุ่มของสับปะรด

การศึกษาผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของสับปะรดปัตตาเวียในสภาพกระถาง เริ่มทดลองปลูกสับปะรดตามกรรมวิธีทดสอบ วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2562 ในกระถางพลาสติกขนาด 15 นิ้ว ใช้ดิน 18 กิโลกรัม จากแปลงสับปะรดของเกษตรกรใน ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (N 12° 20' 52" E 99° 79' 51") (Table 2 : No. 18) ใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

คือปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำ 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) โดยแบ่งใส่ 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ใส่รองก้นหลุม เมื่อวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2562 ครั้งที่ 2 ใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น เมื่อวันที่ 2 เมษายน 2562 และครั้งที่ 3 ใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น เมื่อวันที่ 19 กันยายน 2562 ในอัตราต่าง ๆ ตามกรรมวิธีทดลอง ดูแลกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ วัดความสูงและความกว้างทรงพุ่มหลังปลูก 4 และ 7 เดือน พบว่า ทุกกรรมวิธีทดสอบมีความสูงและความกว้างทรงพุ่มของสับปะรดไม่แตกต่างกัน โดยหลังปลูก 4 เดือน มีความสูงและความกว้างทรงพุ่ม อยู่ในช่วง 35.92 - 39.04 เซนติเมตร และ 75.22 - 78.27 เซนติเมตร ตามลำดับ และหลังปลูก 7 เดือน มีความสูงและความกว้างทรงพุ่มอยู่ในช่วง 39.78 - 41.66 เซนติเมตร และ 109.14 - 117.97 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3)

Table 3 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on height and canopy width of pineapple plants at 4 and 7 months after planting

Treatments			Plant height (cm)		Canopy width (cm)	
	B. ferrariae PaS2(1)	Chemical fertilizer (g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil)	4 months after planting	7 months after planting	4 months after planting	7 months after planting
T1	-	4.20-1.80-3.88	38.10	40.74	77.28	117.97
T2	-	4.20-1.35-2.91	36.54	40.40	78.27	109.14
T3	-	4.20-0.90-1.94	36.25	40.62	75.22	112.34
T4	-	4.20-0.45-0.97	35.92	39.83	77.22	112.01
T5	+	4.20-1.80-3.88	39.04	40.51	76.21	117.64
T6	+	4.20-1.35-2.91	36.17	39.90	77.90	110.93
T7	+	4.20-0.90-1.94	36.27	39.78	76.07	106.33
T8	+	4.20-0.45-0.97	37.71	41.66	75.30	113.45
F-test[1/]			ns	ns	ns	ns
% CV			5.79	3.83	8.52	6.44

Remark [1/] ns = non–significant

2.2 ความกว้างและความยาวของใบ D-Leave

ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความกว้างและความยาวของใบ D-leave แสดงใน Table 4 ในเดือนที่ 4 หลังการปลูกสับปะรด พบว่า กรรมวิธีที่ T7 แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) และใส่ปุ๋ยเคมีในอัตรา 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีความกว้างใบ D-leave น้อยสุดเท่ากับ 3.78 เซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตามในเดือนที่ 7 หลังการปลูกสับปะรด ทุกกรรมวิธีทดสอบมีความกว้างใบ D-leave ไม่แตกต่างกัน ส่วนความยาวใบ D-leave ในทุกกรรมวิธีทดสอบมีความยาวใบ D-leave ไม่

กรมวิชาการเกษตร

แตกต่างกัน โดย มีความยาวใบ D-leave อยู่ในช่วง 48.96 - 51.18 เซนติเมตร หลังจากปลูก 4 เดือน และ 69.78 - 73.61 เซนติเมตร หลังจากปลูก 7 เดือน

Table 4 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on width and length of pineapple D-leaf at 4 and 7 months after planting

Treatments			D-leaf width (cm)		D-leaf length (cm)	
	B. ferrariae PaS2(1)	Chemical fertilizer (g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil)	4 months after planting	7 months after planting	4 months after planting	7 months after planting
T1	-	4.20-1.80-3.88	3.95^{ab}	4.39	51.18	73.61
T2	-	4.20-1.35-2.91	4.12^{a}	4.27	50.66	69.78
T3	-	4.20-0.90-1.94	3.96^{ab}	4.23	50.30	71.98
T4	-	4.20-0.45-0.97	4.09^{a}	4.22	49.99	71.53
T5	+	4.20-1.80-3.88	3.89^{ab}	4.00	51.14	76.13
T6	+	4.20-1.35-2.91	4.03^{ab}	4.22	48.96	73.46
T7	+	4.20-0.90-1.94	3.78^{b}	4.05	50.40	70.48
T8	+	4.20-0.45-0.97	3.88^{ab}	4.23	50.57	73.34
F-test[1/]			*	ns	ns	ns
% CV			4.17	4.99	5.94	5.56

Remark 1/ ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

2.3 การติดดอกของสับปะรด

เมื่อต้นสับปะรดอายุ ประมาณ 9 เดือน สุ่มชั่งน้ำหนักต้นสับปะรด พบว่ามีน้ำหนักต้นรวมใบรวมรากอยู่ในช่วง 2.7 -3.2 กิโลกรัม จึงได้บังคับการออกดอกด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ โดยหยอดแคลเซียมคาร์ไบด์ ปริมาณ 1 กรัมต่อต้น ในช่วงเวลาเย็นของวันที่ 23 พฤศจิกายน 2562 และหยอดซ้ำอีกรอบในวันที่ 25 พฤศจิกายน 2562 ติดตามผลการติดดอกหลังบังคับการออกดอก 60 วัน (23 มกราคม 2563) พบว่าเปอร์เซ็นต์ติดดอกอยู่ในช่วงร้อยละ 87.50 ถึง 100 โดยกรรมวิธีที่ไม่ได้แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 4.20-1.80-3.88 และ 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T1 และT2) มีร้อยละการติดดอก เท่ากับ 100 แต่เมื่อลดอัตราการปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-0.90-1.94 และ 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีร้อยละการติดดอกลดลง เท่ากับ 95.83 และ 87.50 ตามลำดับ ส่วนกรรมวิธีที่แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91 และ 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T5, T6 และ T7) มี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ร้อยละการติดดอก เท่ากับ 100 แต่เมื่อลดอัตราการปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T8) มีร้อยละการติดดอกลดลง เท่ากับ 95.83 จากการผลทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อลดปริมาณปุ๋ยเคมีลงส่งผลให้ต้นสับปะรดเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอทำให้ร้อยละการติดดอกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการแช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ช่วยให้การดูดใช้ปุ๋ยเคมีของสับปะรดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการลดปริมาณปุ๋ยเคมีเหลือ 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T7) ไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการติดดอกของสับปะรด (ร้อยละ 100) ในขณะที่การไม่ได้แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการลดปริมาณปุ๋ยเคมีเหลือ 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T3) ส่งผลกระทบทำให้ร้อยละการติดดอกของสับปะรด (ร้อยละ 95.83)

ภาพที่ 1 การบังคับการออกดอกของสับปะรดด้วยแคลเซียมคาร์ไบด์ (a) และผลการติดดอกของสับปะรดหลังบังคับการออกดอก 60 วัน (23 มกราคม 2563) (b)

3. ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อผลผลิตและคุณภาพของสับปะรด

3.1 ผลผลิตของสับปะรด

เก็บเกี่ยวผลผลิตสับปะรดหลังบังคับการออกดอก 160 วัน (7 พฤษภาคม 2563) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิต (Table 5) ผลศึกษาพบว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91 และ 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T1, T2 และ T3) มีน้ำหนักเฉลี่ยผลรวมจุกและผลไม่รวมจุกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้ เป็น 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T4) ให้น้ำหนักเฉลี่ยผลรวมจุกและผลไม่รวมจุกน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่กรรมวิธีที่แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้จาก 4.20-1.80-3.88 ถึง 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T5, T6, T7 และ T8) พบว่ามีน้ำหนักเฉลี่ยผลรวมจุก ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การแช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T8) ให้น้ำหนักเฉลี่ยผลไม่รวมจุกน้อยกว่าการแช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนน้ำหนักจุกไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี

กรมวิชาการเกษตร

ผลการศึกษาขนาดของผลสับปะรด พบว่าความยาวผลไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ส่วนความกว้างผลในกรรมวิธีที่ไม่ได้แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-1.80-3.88, 4.20-1.35-2.91 และ 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T1, T2 และ T3) มีความกว้างผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้ เป็น 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T4) ให้ผลผลิตที่มีความกว้างผลน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-1.80-3.88 และ 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T5 และ T6) พบว่า มีความกว้างผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-0.90-1.94 และ 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T7 และ T8) จะให้ผลผลิตที่มีความกว้างผลน้อยกว่าการแช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Table 5 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on fruit weight, fruit length and fruit diameter of pineapple

Treatments			Fruit weight (g/ fruit)			Fruit length (cm)	Fruit diameter (cm)
	B. ferrariae PaS2(1)	Chemical fertilizer (g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil)	Fruit and Crown	Fruit	Crown		
T1	-	4.20-1.80-3.88	1368^{a}	1182^{ab}	187	14.33	11.92^{ab}
T2	-	4.20-1.35-2.91	1159^{ab}	1013^{ab}	147	13.75	11.50^{ab}
T3	-	4.20-0.90-1.94	1095^{ab}	969^{ab}	127	13.67	11.50^{ab}
T4	-	4.20-0.45-0.97	1030^{b}	893^{b}	137	13.25	11.30^{b}
T5	+	4.20-1.80-3.88	1362^{ab}	1239^{a}	123	14.25	12.25^{a}
T6	+	4.20-1.35-2.91	1191^{ab}	1061^{ab}	130	14.00	11.75^{ab}
T7	+	4.20-0.90-1.94	1112^{ab}	982^{ab}	130	12.83	11.08^{b}
T8	+	4.20-0.45-0.97	1041^{ab}	901^{b}	140	13.08	11.33^{b}
		F-test[1/]	*	*	ns	ns	*
		% CV	16.68	17.26	38.93	7.07	4.34

Remark [1/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

3.2 คุณภาพผลผลิตของสับปะรด

ผลการวิเคราะห์คุณภาพของสับปะรดแสดงใน Table 6 พบว่า total soluble solid ที่วัดด้วยรีเฟรกโตมิตเตอร์ (Refractometer) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธี แต่เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมด พบว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลด

กรมวิชาการเกษตร

อัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้จาก 4.20-1.80-3.88 ถึง 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T1 และ T2) พบว่า มีความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้ต่ำกว่า 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T3 และ T4) ให้ผลผลิตที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T1) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีที่แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้จาก 4.20-1.80-3.88 ถึง 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T5 T6 และ T7) พบว่ามีความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อลดอัตราปุ๋ยเคมีที่ใช้เป็น 4.20-0.45-0.97 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (กรรมวิธี T8) จะให้ผลผลิตที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดน้อยกว่า การแช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) การใช้ปุ๋ยเคมีตามอัตราแนะนำ (กรรมวิธี T5) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน water content หรือความฉ่ำของผลไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี

Table 6 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on quality of pineapple fruit

Treatments			Total soluble solid (° Brix)	Total sugar (g/L)	Water content (%)
	B. ferrariae PaS2(1)	Chemical fertilizer (g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil)			
T1	-	4.20-1.80-3.88	15.61	148.87^{ab}	83.80
T2	-	4.20-1.35-2.91	14.98	131.23^{abc}	84.94
T3	-	4.20-0.90-1.94	14.57	127.84^{bc}	84.73
T4	-	4.20-0.45-0.97	15.01	125.81^{c}	85.04
T5	+	4.20-1.80-3.88	15.84	150.25^{a}	84.28
T6	+	4.20-1.35-2.91	15.98	150.84^{a}	84.87
T7	+	4.20-0.90-1.94	15.51	133.96^{abc}	83.99
T8	+	4.20-0.45-0.97	15.26	124.83^{c}	84.32
		F-test[1/]	ns	*	ns
		% CV	5.37	9.42	1.42

Remark [1/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

4. การดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรด

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช เพื่อศึกษาการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยแบ่งตัวอย่างพืชออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่ ราก ต้นรวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล ผลวิเคราะห์ไนโตรเจน (Table 7) พบว่า จุกมีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงสุด คือ ร้อยละ 1.17 – 1.32 รองลงมา คือ ต้นรวมใบ (ร้อยละ 0.77 – 0.87) ก้านผล (ร้อยละ 0.57 – 0.68) ราก (ร้อยละ 0.60 – 0.65) เปลือกผล

กรมวิชาการเกษตร

(ร้อยละ 0.52 – 0.61) และเนื้อผล (ร้อยละ 0.33 – 0.42) ตามลำดับ ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน พบว่า ต้นรวมใบมีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุด อยู่ในช่วง 1.85 -2.63 กรัมต่อต้น (น้ำหนักแห้งของต้นรวมใบ อยู่ในช่วง 299.00 – 310.33 กรัม) ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นไนโตรเจนในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า กรรมวิธี T6 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงสุดในเปลือกผล และเนื้อผล เท่ากับ ร้อยละ 0.61 และ 0.42 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในส่วนอื่น ๆ ของพืช ความเข้มข้นของไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกกรรมวิธีทดสอบ ส่วนปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจน พบว่า กรรมวิธี T5 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนในก้านผล และเนื้อผลสูงสุด เท่ากับ 0.11 และ 0.54 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

ผลวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Table 8) พบว่า จุกมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงสุด อยู่ในช่วงร้อยละ 0.17 – 0.20 รองลงมา คือ เปลือกผล (ร้อยละ 0.12 – 0.14) ก้านผล (ร้อยละ 0.07 – 0.09) ต้นรวมใบ (ร้อยละ 0.06 – 0.07) เนื้อผล (ร้อยละ 0.06 – 0.07) และราก (ร้อยละ 0.04) ตามลำดับ ปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส พบว่า ต้นรวมใบมีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุด อยู่ในช่วง 0.16 -0.22 กรัมต่อต้น (น้ำหนักแห้งของต้นรวมใบ อยู่ในช่วง 299.00 – 310.33 กรัม) ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นฟอสฟอรัสในส่วนต่าง ๆ ของพืชไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกกรรมวิธีทดสอบ ส่วนปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัส พบว่า กรรมวิธี T5 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีปริมาณการดูดใช้ฟอสฟอรัสในเนื้อผลสูงสุด เท่ากับ 0.10 กรัมต่อต้น

ผลวิเคราะห์โพแทสเซียม (Table 9) พบว่า จุกมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงสุด คือ ร้อยละ 1.51 – 1.73 รองลงมา คือ ก้านผล (ร้อยละ 1.35 – 1.71) เปลือกผล (ร้อยละ 1.37 – 1.56) ต้นรวมใบ (ร้อยละ 0.84 – 1.36) เนื้อผล (ร้อยละ 0.81 – 0.92) และราก (ร้อยละ 0.22 – 0.28) ตามลำดับ ปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม พบว่า ต้นรวมใบมีปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุด อยู่ในช่วง 2.20 - 4.12 กรัมต่อต้น (น้ำหนักแห้งของต้นรวมใบ อยู่ในช่วง 299.00 – 310.33 กรัม) ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นโพแทสเซียมในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า กรรมวิธี T1 ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม และ กรรมวิธี T5 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีความเข้มข้นของโพแทสเซียมสูงสุดในลำต้นรวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล ส่วนปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียม พบว่า กรรมวิธี T1 ไม่แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม และ กรรมวิธี T5 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีปริมาณการดูดใช้โพแทสเซียมในลำต้นรวมใบ ก้านผล เปลือกผล และเนื้อผลสูงสุด

กรมวิชาการเกษตร

ผลวิเคราะห์แคลเซียม (Table 10) พบว่า รากมีความเข้มข้นของแคลเซียมสูงสุด อยู่ในช่วงร้อยละ 0.95 – 1.34 รองลงมา คือ จุก (ร้อยละ 0.80 – 1.16) ต้นรวมใบ (ร้อยละ 0.67 – 0.97) ก้านผล (ร้อยละ 0.67 – 0.83) เปลือกผล (ร้อยละ 0.49 – 0.68) และเนื้อผล (ร้อยละ 0.27 – 0.42) ตามลำดับ ปริมาณการดูดใช้แคลเซียม พบว่า ต้นรวมใบมีปริมาณการดูดใช้แคลเซียมสูงสุด อยู่ในช่วง 2.04 – 3.04 กรัมต่อต้น (น้ำหนักแห้งของต้นรวมใบ อยู่ในช่วง 299.00 – 310.33 กรัม) ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นแคลเซียมในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกกรรมวิธีทดสอบ ส่วนปริมาณการดูดใช้แคลเซียม พบว่า กรรมวิธี T6 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีปริมาณการดูดใช้แคลเซียมในก้านผล และเปลือกผลสูงสุด เท่ากับ 0.13 และ 0.51 กรัมต่อต้น ตามลำดับ

ผลวิเคราะห์แมกนีเซียม (Table 11) พบว่า จุกมีความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงสุด อยู่ในช่วงร้อยละ 0.21 – 0.25 รองลงมา คือ ก้านผล (ร้อยละ 0.14 – 0.20) ต้นรวมใบ (ร้อยละ 0.14 – 0.17) เนื้อผล (ร้อยละ 0.11 – 0.13) เปลือกผล (ร้อยละ 0.10 – 0.13) และราก (ร้อยละ 0.05 – 0.06) ตามลำดับ ปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียม พบว่า ต้นรวมใบมีปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุด อยู่ในช่วง 0.34 – 0.51 กรัมต่อต้น (น้ำหนักแห้งของต้นรวมใบ อยู่ในช่วง 299.00 – 310.33 กรัม) ผลการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นแมกนีเซียมในส่วนต่าง ๆ ของพืช พบว่า กรรมวิธี T6 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมสูงสุดในเปลือกผล และเนื้อผล เท่ากับ ร้อยละ 0.13 และ 0.13 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในส่วนอื่น ๆ ของพืช ความเข้มข้นของแมกนีเซียมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกกรรมวิธีทดสอบ ส่วนปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียม พบว่า T6 แช่หน่อพันธุ์สับปะรดก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม มีปริมาณการดูดใช้แมกนีเซียมในเปลือกผลสูงสุด เท่ากับ 0.10 กรัมต่อต้น

กรมวิชาการเกษตร

Table 7 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on nitrogen uptake of pineapple in pot experiment

Treatments[1/]	Root			Stem and Leaf			Stalk			Crown			Peel			Flesh		
	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)	DW (g)	Total N (%)	N uptake (g)
T1	64.00	0.60	0.38	302.67	0.87	2.63	14.33^{ab}	0.68	0.10^{a}	46.33	1.23	0.57	72.33	0.52^{b}	0.38	130.36^{ab}	0.33^{c}	0.43^{ab}
T2	55.33	0.61	0.34	294.33	0.84	2.47	14.33^{ab}	0.66	0.09^{a}	33.67	1.20	0.40	71.67	0.53^{ab}	0.38	110.43^{ab}	0.39^{abc}	0.43^{ab}
T3	57.67	0.65	0.37	229.00	0.81	1.85	14.00^{ab}	0.60	0.08^{ab}	26.67	1.34	0.36	64.67	0.57^{ab}	0.37	107.83^{ab}	0.40^{ab}	0.43^{ab}
T4	62.33	0.62	0.39	265.33	0.77	2.04	15.33^{a}	0.60	0.09^{ab}	27.67	1.27	0.35	71.33	0.57^{ab}	0.41	101.32^{b}	0.37^{abc}	0.37^{b}
T5	64.67	0.60	0.39	310.33	0.84	2.61	16.00^{a}	0.67	0.11^{a}	26.33	1.22	0.32	84.67	0.53^{ab}	0.45	142.33^{a}	0.38^{abc}	0.54^{a}
T6	57.33	0.63	0.36	282.67	0.80	2.26	15.67^{a}	0.63	0.10^{a}	27.00	1.31	0.35	75.33	0.61^{a}	0.46	110.24^{ab}	0.42^{a}	0.46^{ab}
T7	51.00	0.64	0.33	261.33	0.86	2.25	11.33^{b}	0.57	0.06^{b}	31.00	1.32	0.41	69.67	0.56^{ab}	0.39	119.28^{ab}	0.39^{ab}	0.47^{ab}
T8	52.33	0.63	0.33	267.67	0.78	2.09	13.67^{ab}	0.61	0.08^{ab}	33.67	1.17	0.39	66.00	0.53^{ab}	0.35	101.64^{b}	0.35^{bc}	0.36^{b}
F-test[2/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	*	*
% CV	15.54	7.37	16.41	18.01	10.63	22.32	13.59	12.93	19.42	39.33	10.07	40.83	15.63	8.80	16.03	18.97	10.31	19.27

Remark [1/] T1= Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T2 = Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T3 = Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T4 = Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T5 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T6 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T7 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T8 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

[2/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

กรมวิชาการเกษตร

Table 8 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on phosphorus uptake of pineapple in pot experiment

Treatments[1/]	Root			Stem and Leaf			Stalk			Crown			Peel			Flesh		
	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)	DW (g)	Total P (%)	P uptake (g)
T1	64.00	0.04	0.03	302.67	0.07	0.21	14.33	0.09	0.01	46.33	0.19	0.09	72.33	0.13	0.09	130.36	0.07	0.09^{ab}
T2	55.33	0.04	0.02	294.33	0.07	0.21	14.33	0.08	0.01	33.67	0.17	0.06	71.67	0.13	0.09	110.43	0.07	0.08^{b}
T3	57.67	0.04	0.02	229.00	0.07	0.16	14.00	0.07	0.01	26.67	0.19	0.05	64.67	0.12	0.08	107.83	0.07	0.08^{b}
T4	62.33	0.04	0.02	265.33	0.07	0.19	15.33	0.07	0.01	27.67	0.18	0.05	71.33	0.13	0.09	101.32	0.07	0.07^{b}
T5	64.67	0.04	0.03	310.33	0.07	0.22	16.00	0.08	0.01	26.33	0.19	0.05	84.67	0.13	0.11	142.33	0.07	0.10^{a}
T6	57.33	0.04	0.02	282.67	0.07	0.20	15.67	0.08	0.01	27.00	0.20	0.05	75.33	0.14	0.11	110.24	0.07	0.08^{b}
T7	51.00	0.04	0.02	261.33	0.06	0.16	11.33	0.07	0.01	31.00	0.17	0.05	69.67	0.12	0.08	119.28	0.06	0.07^{b}
T8	52.33	0.04	0.02	267.67	0.07	0.19	13.67	0.08	0.01	33.67	0.17	0.06	66.00	0.13	0.09	101.64	0.07	0.07^{b}
F-test[2/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*
% CV	15.54	20.26	29.05	18.01	20.19	28.84	13.59	17.37	25.46	39.33	11.70	43.12	15.63	13.74	19.82	18.97	10.46	14.70

Remark [1/] T1= Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T2 = Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T3 = Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T4 = Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T5 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T6 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T7 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T8 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

[2/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

กรมวิชาการเกษตร

Table 9 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on potassium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments[1/]	Root			Stem and Leaf			Stalk			Crown			Peel			Flesh		
	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)	DW (g)	Total K (%)	K uptake (g)
T1	64.00	0.25	0.16	302.67	1.36^{a}	4.12^{a}	14.33	1.71^{a}	0.25^{a}	46.33	1.73^{a}	0.80	72.33	1.49^{ab}	1.08^{ab}	130.36	0.92	1.20^{a}
T2	55.33	0.22	0.12	294.33	1.09^{abc}	3.21^{ab}	14.33	1.50^{ab}	0.21^{ab}	33.67	1.51^{b}	0.51	71.67	1.46^{ab}	1.05^{ab}	110.43	0.86	0.95^{ab}
T3	57.67	0.25	0.14	229.00	1.10^{abc}	2.52^{b}	14.00	1.40^{b}	0.20^{ab}	26.67	1.61^{ab}	0.43	64.67	1.37^{b}	0.89^{b}	107.83	0.90	0.97^{ab}
T4	62.33	0.28	0.17	265.33	1.06^{bc}	2.81^{ab}	15.33	1.54^{ab}	0.24^{a}	27.67	1.60^{ab}	0.44	71.33	1.45^{ab}	1.03^{ab}	101.32	0.92	0.93^{ab}
T5	64.67	0.22	0.14	310.33	1.04^{bc}	3.23^{ab}	16.00	1.60^{ab}	0.26^{a}	26.33	1.60^{ab}	0.42	84.67	1.44^{ab}	1.22^{a}	142.33	0.88	1.25^{a}
T6	57.33	0.25	0.14	282.67	1.02^{bc}	2.88^{ab}	15.67	1.60^{ab}	0.25^{a}	27.00	1.66^{ab}	0.45	75.33	1.56^{a}	1.18^{a}	110.24	0.91	1.00^{ab}
T7	51.00	0.22	0.11	261.33	0.84^{c}	2.20^{b}	11.33	1.35^{b}	0.15^{b}	31.00	1.54^{ab}	0.48	69.67	1.43^{ab}	1.00^{ab}	119.28	0.81	0.97^{ab}
T8	52.33	0.25	0.13	267.67	1.27^{ab}	3.40^{ab}	13.67	1.56^{ab}	0.21^{ab}	33.67	1.57^{ab}	0.53	66.00	1.53^{ab}	1.01^{ab}	101.64	0.89	0.90^{b}
F-test[2/]	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	*	ns	ns	*	*	*	ns	*
% CV	15.54	14.32	23.25	18.01	18.39	27.17	13.59	10.41	19.39	39.33	6.73	42.82	15.63	6.25	15.05	18.97	9.18	16.85

Remark [1/] T1= Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T2 = Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T3 = Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T4 = Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T5 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T6 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T7 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

T8 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil

[2/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัย

Table 10 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on calcium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments[1/]	Root			Stem and Leaf			Stalk			Crown			Peel			Flesh		
	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)	DW (g)	Total Ca (%)	Ca uptake (g)
T1	64.00	1.13	0.72	302.67	0.84	2.54	14.33	0.67	0.10^{ab}	46.33	1.01	0.47	72.33	0.60	0.43^{ab}	130.36	0.35	0.46
T2	55.33	1.08	0.60	294.33	0.89	2.62	14.33	0.79	0.11^{ab}	33.67	0.80	0.27	71.67	0.53	0.38^{ab}	110.43	0.30	0.33
T3	57.67	1.17	0.67	229.00	0.89	2.04	14.00	0.73	0.10^{ab}	26.67	1.16	0.31	64.67	0.65	0.42^{ab}	107.83	0.40	0.43
T4	62.33	0.95	0.59	265.33	0.67	1.78	15.33	0.79	0.12^{a}	27.67	1.01	0.28	71.33	0.62	0.44^{ab}	101.32	0.41	0.42
T5	64.67	1.09	0.70	310.33	0.98	3.04	16.00	0.77	0.12^{a}	26.33	0.97	0.26	84.67	0.49	0.41^{ab}	142.33	0.27	0.38
T6	57.33	1.06	0.61	282.67	0.97	2.74	15.67	0.83	0.13^{a}	27.00	1.10	0.30	75.33	0.68	0.51^{a}	110.24	0.42	0.46
T7	51.00	0.97	0.49	261.33	0.81	2.12	11.33	0.75	0.08^{b}	31.00	1.02	0.32	69.67	0.51	0.36^{b}	119.28	0.29	0.35
T8	52.33	1.34	0.70	267.67	0.86	2.30	13.67	0.82	0.11^{ab}	33.67	0.99	0.33	66.00	0.65	0.43^{ab}	101.64	0.40	0.41
F-test[2/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
% CV	15.54	19.62	26.07	18.01	23.29	30.18	13.59	12.56	19.28	39.33	20.08	43.05	15.63	18.25	17.97	18.97	28.46	24.70

Remark [1/] T1= Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T2 = Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T3 = Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T4 = Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T5 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T6 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T7 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T8 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

[2/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

ศูนย์วิทยทรัพยากร

Table 11 Effect of co- application of *B. ferrariae* PaS2(1) and chemical fertilizer on magnesium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments[1/]	Root			Stem and Leaf			Stalk			Crown			Peel			Flesh		
	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)	DW (g)	Total Mg (%)	Mg uptake (g)
T1	64.00	0.05	0.03	302.67	0.17	0.51	14.33	0.14	0.02	46.33	0.23	0.11	72.33	0.12^{ab}	0.09^{ab}	130.36	0.12^{ab}	0.16
T2	55.33	0.05	0.03	294.33	0.15	0.44	14.33	0.18	0.03	33.67	0.21	0.07	71.67	0.11^{b}	0.08^{b}	110.43	0.12^{ab}	0.13
T3	57.67	0.06	0.03	229.00	0.15	0.34	14.00	0.14	0.02	26.67	0.23	0.06	64.67	0.12^{ab}	0.08^{b}	107.83	0.12^{ab}	0.13
T4	62.33	0.05	0.03	265.33	0.15	0.40	15.33	0.16	0.02	27.67	0.22	0.06	71.33	0.12^{ab}	0.09^{ab}	101.32	0.13^{ab}	0.13
T5	64.67	0.05	0.03	310.33	0.16	0.50	16.00	0.20	0.03	26.33	0.24	0.06	84.67	0.11^{b}	0.09^{ab}	142.33	0.11^{ab}	0.16
T6	57.33	0.06	0.03	282.67	0.14	0.40	15.67	0.18	0.03	27.00	0.25	0.07	75.33	0.13^{a}	0.10^{a}	110.24	0.13^{a}	0.14
T7	51.00	0.05	0.03	261.33	0.13	0.34	11.33	0.15	0.02	31.00	0.22	0.07	69.67	0.11^{b}	0.08^{b}	119.28	0.11^{b}	0.13
T8	52.33	0.06	0.03	267.67	0.16	0.43	13.67	0.18	0.02	33.67	0.21	0.07	66.00	0.13^{a}	0.09^{ab}	101.64	0.12^{ab}	0.12
F-test[2/]	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	ns
% CV	15.54	11.20	18.99	18.01	16.62	26.82	13.59	24.51	33.33	39.33	12.97	43.37	15.63	10.85	10.36	18.97	8.03	12.67

Remark [1/] T1= Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T2 = Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T3 = Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T4 = Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T5 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.80-3.88 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T6 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-1.35-2.91 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T7 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.90-1.94 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

T8 = *B. ferrariae* PaS2(1) + Chemical fertilizer 4.20-0.45-0.97 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /18 kg soil

[2/] ns = non–significant, * = significantly different at 0.05 probability level, means with different letters within column indicate significant difference according to DMRT

ลิขสิทธิ์กรมวิชาการเกษตร

5. ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมีหลังการทดลอง

เก็บตัวอย่างดินหลังทำการทดลองในแต่ละกรรมวิธีเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหาร (Table 12) พบว่า ปริมาณของอินทรียวัตถุหลังทำการทดลอง อยู่ในช่วงร้อยละ 0.58 ถึง 0.75 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดินก่อนทำการทดลอง (ร้อยละ 0.64) ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธี T5 และ T6 แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 4.20-1.80-3.88 และ 4.20-1.35-2.91 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ตามลำดับ มีค่าฟอสฟอรัส เท่ากับ 64.93 และ 77.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีค่าโพแทสเซียม เท่ากับ 95.38 และ 103.30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่สร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์ เพื่อละลายสารประกอบฟอสเฟตและโพแทสเซียมที่ถูกตรึงเป็นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน (Diep and Hieu, 2013)

Table 12 General characteristics of soils after harvesting

Treatments			pH H_2O (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg/kg)	Exch. K (mg/kg)
	B. ferrariae PaS2(1)	Chemical fertilizer (g N-P_2O_5-K_2O /18 kg soil)				
T1	-	4.20-1.80-3.88	6.36	0.68	32.25	72.29
T2	-	4.20-1.35-2.91	7.06	0.58	39.34	70.05
T3	-	4.20-0.90-1.94	6.67	0.62	34.00	76.02
T4	-	4.20-0.45-0.97	6.78	0.75	37.39	73.65
T5	+	4.20-1.80-3.88	6.75	0.66	64.93	95.38
T6	+	4.20-1.35-2.91	6.07	0.69	77.68	103.30
T7	+	4.20-0.90-1.94	6.04	0.74	41.36	71.41
T8	+	4.20-0.45-0.97	7.42	0.69	32.42	73.38

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมความสูงของต้นสับปะรด ความกว้างทรงพุ่ม ความกว้าง และความยาวของ ใบ D-leave

2. การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทช ลงจากอัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม เป็น 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (ลดลงร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ) ไม่ส่งผลกระทบต่อร้อยละการติดดอก

3. การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทช เหลือเพียง 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (ลดลงร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ)

กรมวิชาการเกษตร

ในการผลิตสับปะรด ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของสับปะรดทั้งปริมาณผลผลิต (น้ำหนักผล และขนาดผล) และคุณภาพผลผลิต (ความหวาน ความเข้มข้นน้ำตาล และความฉ่ำ) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราแนะนำ (4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม)

4. การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ต้น รวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล

5. ดินหลังจากเก็บเกี่ยวมีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากการใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) ซึ่งมีความสามารถละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช โดยสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์ เพื่อละลายสารประกอบฟอสเฟตและโพแทสเซียมที่ถูกตรึงเป็นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เกตุอร ทองเครือ. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรดระบบเกษตรอินทรีย์. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558. หน้า 64-67.

Azam, F. and G.H. Memon. 1996. Soil organisms. Pages. 200–232. In: E. Bashir and R. Bantel., (eds.) Soil science. National Book Foundation, Islamabad.

Bray, R.L. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39–45.

Delvasto, P., A. Valverde, A. Ballester, J.A. Muñoz, F. González, M.L. Blázquez, J.M. Igual and C. García-Balboa. 2008. Diversity and activity of phosphate bioleaching bacteria from a high-phosphorus iron ore. Hydrometallurgy. 92: 124–129.

Diep, C.N. and T.N. Hieu. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province, Vietnam. Am. J. Life Sci. 1: 88-92.

Friedrich, S., N.P. Platonova, G.I. Karavaiko, E. Stichel and F. Glombitza, 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnologica, 11: 187-196.

Frossard, E.; M. Brossard; M.J. Hedley and A. Metherell. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils. Pages. 107–138. In: H. Tiessen., (eds.) Phosphorus in the Global Environment. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, U.K.

กรมวิชาการเกษตร

Maliha, R.; K. Samina; A. Najma; A. Sadia and L. Farooq. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 187–196.

Peech, M., L. T. Alexander, L. A. Deanand and J. F. Reed. 1947. Method of Soil analysis for Soil Fertility Investigation. US. Dept. Agric. Circ. 757 p.

Sheng, X.F. and L.Y. He. 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of Bacillus edaphicus and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Can. J. Microbiol., 52: 66-72.

Tandon, H.L.S., H.P. Cescas and E.H. Tyner. 1968. An acid free vanadate molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soil. Soil Sci. Amer.Proc. 32: 48-51.

Valverde, A., P. Delvasto, A. Peix, E. Velázquez, I. Santa-Regina, A. Ballester, C. Rodríguez-Barrueco, C. García-Balboa and J.M. Igual. 2006. *Burkholderia ferrariae* sp. nov., isolated from an iron ore in Brazil. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 56: 2421–2425.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. Advances in Agronomy 69:99–151.

กรมวิชาการเกษตร

การทดลองที่ 3

การคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด

Selection of Efficient Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Nutrient Absorption for Pineapple

กนกอร บุญพา บุณฑริก ฉิมชาติ กิตจเมธ แจ้งศิริกุล นิศารัตน์ ทวีนุต ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย

Kanokon Bunpha, Boontarik Chimchart, Kitjamate Jangsirikul, Nisarat Thaweenut, Tawatchai Inboonchuay

คำสำคัญ (keywords) : ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhiza) สับปะรด (Pineapple) การดูดใช้ธาตุอาหาร (Nutrient uptake) ประสิทธิภาพ (Efficiency)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรดเพื่อให้ได้รา AM ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสับปะรด จึงออกสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดในเขตจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ ได้ตัวอย่างทั้งหมด 21 ตัวอย่าง ในจำนวนนี้มี 12 ตัวอย่างที่มีปริมาณสปอร์มากกว่า 100 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จึงนำตัวอย่างดังกล่าวไปศึกษาประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในราก พบว่ารา AM ไอโซเลทที่สามารถเพิ่มจำนวนได้สูงสุด คือ SMZ62-1 SMZ47-5 SMZ79-4 SMZ62-2 และ SMZ79-3 มีจำนวนสปอร์ เท่ากับ 2,702 2,498 2,329 2,245 และ 2,223 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ และมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในราก เท่ากับ 88.09 95 93.33 100 และ 95 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จึงนำรา AM ทั้ง 5 ไอโซเลท ไปทดสอบกับสับปะรดในสภาพกระถาง วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธีทดลอง โดยทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ทำการศึกษา ณ แปลงสับปะรดของเกษตรกร ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 มีค่าการดูดใช้ไนโตรเจนสูงสุดในทุกส่วนของสับปะรด ได้แก่ ลำต้น รวมใบ ราก จุก เปลือกผล และเนื้อผล เท่ากับ 2.430 0.351 0.387 0.298 และ 0.305 กรัมต่อต้น ตามลำดับ และมีค่าความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในลำต้นรวมใบ จุก และเนื้อผล สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม เท่ากับ 2.430 0.351 0.387 0.298 และ 0.305 กรัมต่อต้น ตามลำดับ อีกทั้งช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมสูงสุดในส่วนลำต้นรวมใบและราก และมีค่าการดูดใช้แมกนีเซียมสูงสุดในรากและเปลือกผลอีกด้วย จึงสรุปได้ว่าการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 มีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรดในสภาพกระถาง

กรมวิชาการเกษตร

Abstract

This research focuses on the selection of effective arbuscular mycorrhizal fungi in the nutrient absorption for pineapples to obtain suitable arbuscular mycorrhizal fungi for pineapple production. Therefore, soil samples were collected from pineapple plantations in Phetchaburi and Prachuap Khiri Khan provinces. A total of 21 soil samples were obtained, 12 of which contained more than 100 spores per 100 g of soil. These samples were studied for the efficacy of increasing spore number and percentage of root colonization. It was found that the highest concentrations of arbuscular mycorrhiza (AM) isolates were SMZ62-1, SMZ47-5, SMZ79-4, SMZ62-2 and SMZ79-3 with 2,702, 2,498, 2,329, 2,245 and 2,223 spores per 100 g of soil, respectively, and the root colonization percentage was 88.09, 95, 93.33, 100 and 95% respectively. All five isolates were selected to use with pineapples in potted conditions. The experimental design was RCB with 4 replications and 6 treatments. All treatments were applied chemical fertilizer rate at 4-2-4 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ per 18 kg soil according to soil analysis values. The study was conducted at farmers' pineapple plots, Sam Krathai subdistrict, Kui Buri district, Prachuap Khiri Khan Province, the sixth treatment applied fertilizer rate at 4-2-4 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ per 18 kg soil with AM isolate SMZ79-3 showed the highest nitrogen uptake in all parts, i.e., stem with leaves, root, peel and flesh were 2.430, 0.351, 0.387, 0.298 and 0.305 g per plant, respectively and the total nitrogen concentration in the stem with leaves, crown and flesh higher than the control treatment. Furthermore, it showed the maximum phosphorus and potassium uptake values in the stem with leaves were 0.214 and 0.027 g per plant and the root were 2.857 and 0.139 g per plant, respectively. Moreover, it also showed the highest uptake of magnesium in the root and peel. Therefore, it can be concluded that the applied fertilizer rate at 4-2-4 g $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ per 18 kg soil with AM isolate SMZ79-3 is effective in absorbing nutrients of pineapple in potted conditions.

บทนำ

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เพาะปลูกสับปะรดกระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ พื้นที่หลักที่สำคัญ คือ ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี แม้ว่าประเทศไทยจะสามารถผลิตสับปะรดได้ในปริมาณมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในระดับที่ต่ำมาก คือ 3,880 กิโลกรัมต่อไร่ ในขณะที่คอสตาริกา บราซิล และฟิลิปปินส์ ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก เท่ากับ 9,555 6,289 และ 6,468 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกให้สูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิต จะทำให้สับปะรดของไทยมีความสามารถในการแข่งขันใน

กรมวิชาการเกษตร

ตลาดโลกได้สูงขึ้น โดยทั่วไปสับปะรดต้องการปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 1,000–1,500 มิลลิเมตรต่อปี แต่ต้องตกกระจายสม่ำเสมอตลอดปี และมีความชื้นในอากาศสูง สับปะรดชอบขึ้นในดินร่วน ดินร่วนปนทราย และดินปนลูกรัง สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินควรเป็นกรดเล็กน้อย คือ ตั้งแต่ 4.5–5.5 (เกตุอร, ม.ป.ป.) ปกติดินที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ จะมีอัตราการตรึงฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์กับพืชสูง (Fearnside, 1998) ทำให้เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกสับปะรด ธาตุอาหารส่วนใหญ่จะตกตะกอนในรูปของสารประกอบ พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เกษตรกรจึงจำเป็นต้องใส่ปุ๋ยเคมีทุกครั้งที่ทำการเพาะปลูกสับปะรดและเพิ่มปริมาณขึ้นทุกปีทำให้ต้นทุนในการผลิตสับปะรดสูงขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนธาตุอาหารจากรูปที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ สามารถลดปริมาณการใส่ปุ๋ยและลดต้นทุนในการผลิตสับปะรดได้ โดยจุลินทรีย์ในดินหลายชนิดมีความสามารถในการละลายธาตุอาหารพืชที่ถูกตรึงอยู่ในดิน เช่น ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมได้ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดินหรือโพแทสเซียมที่ถูกยึดอยู่ในอนุภาคดิน นอกจากนั้นจุลินทรีย์ดินบางชนิดยังสามารถสร้างเอนไซม์ไฟเตส (phytase) เพื่อย่อยสลายไฟเตต (phytate) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ฟอสเฟตที่สะสมในดิน ทำให้ธาตุอาหารดังกล่าวปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดการสะสมธาตุอาหารในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ในดินและเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารได้ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (AM) เป็นจุลินทรีย์กลุ่มหนึ่งที่อาศัยอยู่ในดินบริเวณรากพืชและเจริญเข้าไปภายในรากพืช อยู่ร่วมกับพืชในรูปแบบพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน โดยพืชให้อาหารจำพวกน้ำตาลที่ได้จากการสังเคราะห์แสงแก่รา ส่วนราช่วยดูดธาตุอาหารที่จำเป็น เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง สังกะสี โดยเฉพาะธาตุฟอสฟอรัสในดินที่มักอยู่ในรูปที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ส่งต่อให้แก่พืช ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดี ส่งผลให้การเจริญเติบโตของพืชที่มีรา AM อาศัยอยู่สูงกว่าพืชที่ไม่มีราชนิดนี้อาศัยอยู่ และยังช่วยให้พืชทนต่อสภาวะเครียดต่าง ๆ ได้มากขึ้น (Liu *et al*., 2002; Chen *et al*., 2003) จากคุณสมบัตินี้จึงนำรา AM มาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณภาพผลผลิตให้กับสับปะรด ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้นสับปะรดมีความสมบูรณ์อย่างสม่ำเสมอ งานวิจัยนี้จึงศึกษาและคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรดซึ่งนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการปลูกสับปะรดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

- อุปกรณ์

1. หน่อสับปะรด พันธุ์ปัตตาเวีย
2. กระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 และ 15 นิ้ว
3. ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่คัดเลือกได้จากแปลงสับปะรด
4. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
5. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช เช่น พลั่วมือ ถุงพลาสติก ถุงกระดาษ ถุงตาข่าย ฯลฯ
6. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช เช่น หลอดทดลอง บีกเกอร์ กระบอกตวง ขวดรูปชมพู่ ฯลฯ

กรมวิชาการเกษตร

7. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เช่น ตะแกรงร่อนสปอร์ ขนาด 45–450 ไมครอน เครื่องปั่นเหวี่ยง ที่มีความเร็วไม่ต่ำกว่า 2,000 รอบต่อนาที เครื่องวัด pH ตู้อบ เครื่องชั่งสาร ฯลฯ

8. สารเคมีสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ดินและพืช เช่น กรดเปอร์คลอริก กรดไนทริก กรดบอริก กรดซัลฟิวริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมไดโครเมต ซีลีเนียมมิกซ์เจอร์ แอมโมเนียมอะซีเทต แอมโมเนียมเมตาวานาเดต ฯลฯ

- วิธีการ

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรด

สำรวจพื้นที่ปลูกสับปะรดในจังหวัดจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ บันทึกค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์สภาพภูมิประเทศ เก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มรวมก่อนปลูก (Composite sample) ที่ระดับความลึก 0–15 เซนติเมตร มาวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ หาค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน วัดโดย pH meter ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 1 (Peech, 1965) อินทรียวัตถุ (Organic matter) วิเคราะห์ด้วยวิธี Walkley and Black (Jackson, 1967) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) วิเคราะห์โดยการสกัดดินด้วยน้ำยาสกัด Bray II (Bray and Kurtz, 1945) วัดการเกิดสีตามวิธี Molybdenum Blue วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer และ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) โดยสกัดดินด้วย 1N Ammonium Acetate, pH 7 และวัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer (Thomas, 1982) และตรวจนับจำนวนสปอร์ราอาร์บัสคู-ลาร์ไมคอร์ไรซาของดินจากพื้นที่ปลูกสับปะรดด้วยเทคนิค wet-sieving and decanting (Gerdemann and Nicolson, 1963)

2. การคัดเลือกและเตรียมหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสำหรับปลูกสับปะรด

คัดเลือกและเพิ่มปริมาณเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา โดยนำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละไอโซเลทที่คัดแยกได้จากดินที่ปลูกสับปะรดมาเพิ่มปริมาณโดยเตรียมดินผสมทรายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วใส่ในกระถางขนาด 8 นิ้ว ใส่เชื้อที่เตรียมไว้โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชอาศัย เมื่อครบกำหนด 3 เดือน นำมาตรวจนับจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และทำการเพิ่มปริมาณสปอร์แบบกระถางด้วยวิธีการดักสปอร์ (trap culture) ต่ออีก 3 เดือน ตรวจนับจำนวนสปอร์และเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา เพื่อคัดเลือกเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำมาทำเป็นหัวเชื้อสำหรับสับปะรด ถ้าปริมาณสปอร์ที่ได้มีความเข้มข้นไม่เพียงพอต้องทำการขยายเชื้อซ้ำ หลังจากนั้นจึงคัดเลือกไอโซเลทที่สามารถเพิ่มจำนวนได้และมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากสูงสุด 5 อันดับแรกมาทำเป็นหัวเชื้อเพื่อไปทดสอบกับสับปะรดในสภาพกระถาง ตามกรรมวิธีที่ระบุไว้

3. การทดสอบการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสับปะรดในสภาพกระถาง

3.1 เก็บตัวอย่างดินก่อนปลูกนำมาวิเคราะห์สมบัติดินในห้องปฏิบัติการ หาค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (Soil pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity, EC) ใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 5 (Richards, 1954) อินทรียวัตถุ (Organic matter) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available P) โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable K) เพื่อหาอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับปลูกสับปะรดตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

กรมวิชาการเกษตร

(กรมวิชาการเกษตร, 2553) ปุ๋ยเคมีอัตราแนะนำที่ใส่ให้สับปะรด คือ ปริมาณ N-P_2O_5-K_2O เท่ากับ 75-34-68 กิโลกรัมต่อไร่

3.2 ปลูกสับปะรดในกระถาง โดยเตรียมดินจากพื้นที่ปลูกสับปะรดของเกษตรกรในตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ใส่ในกระถางพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 นิ้ว นำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เตรียมไว้รองก้นหลุมตามกรรมวิธีที่กำหนดพร้อมกับหน่อสับปะรด ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน อัตราปุ๋ยเคมีที่ใส่ให้สับปะรด คือ 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (เทียบเท่า 75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) เหมือนกันทุกกรรมวิธี โดยแบ่งใส่ปุ๋ยเคมี 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ตอนปลูกสับปะรด โดยรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) เท่ากับ 2.28 2.07 และ 1.59 กรัม ต่อดิน 18 กิโลกรัม ตามลำดับ (อัตรา 1-1-1 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม) เมื่อสับปะรดอายุ 60 วัน จึงใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 โดยใส่ปุ๋ยบริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) ทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-46-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) เท่ากับ 2.28 2.07 และ 1.59 กรัม ต่อดิน 18 กิโลกรัม (อัตรา 1-1-1 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม) และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่อสับปะรดอายุ 210 วัน บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้น ใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60) เท่ากับ 4.57 และ 3.17 กรัม ต่อดิน 18 กิโลกรัม (อัตรา 2-0-2 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม) โดยมีการให้น้ำและดูแลกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ

3.3 วัดการเจริญเติบโตเมื่อสับปะรดอายุ 120 วัน บันทึกข้อมูล และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

3.4 หยอดถ่านแก๊ส (แคลเซียมคาร์ไบด์, CaC_2) ปริมาณ 1 กรัมต่อต้น เพื่อบังคับการออกดอกของสับปะรด และตรวจวัดเปอร์เซ็นต์การติดดอกของสับปะรดหลังการบังคับการออกดอกของสับปะรดที่ 60 วัน

3.5 ตรวจนับจำนวนสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเมื่อสับปะรดอายุ 6 และ 18 เดือน

3.6 เก็บเกี่ยวผลผลิตและวัดคุณภาพของผลผลิตโดยแยกตัวอย่างพืชในส่วนเหนือดินและราก ได้แก่ ลำต้นรวมใบ ราก จุก เปลือกผล และเนื้อผล เมื่อสับปะรดอายุ 18 เดือน

3.7 วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในแต่ละส่วนของพืชและคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรด โดยใช้สูตร ปริมาณธาตุอาหารที่ดูดใช้ = (ความเข้มข้นของธาตุอาหาร×น้ำหนักแห้งของพืช)/100

3.8 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อหาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance) ค่า P-Value และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรดในแต่ละกรรมวิธี

วางแผนการทดลองแบบ RCB 6 กรรมวิธี 4 ซ้ำ

กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม เป็นกรรมวิธีควบคุม (SF)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ 1 (SF+AMF1)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ 2 (SF+AMF2)

กรมวิชาการเกษตร

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ 3 (SF+AMF3)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ 4 (SF+AMF4)

กรรมวิธีที่ 6 ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ 5 (SF+AMF5)

- เวลาและสถานที่

ระยะเวลาทำการทดลอง: ตุลาคม 2561 – กันยายน 2563

สถานที่ทำการทดลอง : กลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน และกลุ่มงานวิจัยเคมีดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร แปลงสับปะรดของเกษตรกร ต.สามกระทาย อ.กุยบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรด

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ปลูกสับปะรดของจังหวัดเพชรบุรีและประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 21 แห่ง (Table 1) พบว่าดินส่วนใหญ่ที่เกษตรกรปลูกสับปะรดเป็นดินร่วนปนทราย มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ส่วนใหญ่เป็นกรด อยู่ในช่วง 3.42–4.46 มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) โดยรวม อยู่ในช่วง 0.40–1.47 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) อยู่ในช่วง 4.68–73.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) อยู่ในช่วง 26.30–467.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้นตัวอย่างดินของแปลงสับปะรด ตำบลหาดขาม อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (12°4'42"N 99°41'39"E) ที่มีค่า pH เป็นกลาง เท่ากับ 7.11 และ แปลงสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (12°10'59"N 99°46'23"E) ที่เป็นดินเหนียว และมีค่า pH เป็นด่าง เท่ากับ 8.48 และจากการตรวจนับสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในดินพบในว่าทุกพื้นที่มีสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในปริมาณที่แตกต่างกัน มีจำนวนตั้งแต่ 9–445 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จึงเลือกตัวอย่างดินที่มีปริมาณสปอร์มากกว่า 100 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม จำนวน 12 แหล่ง ได้แก่ PC018 PC005 PC006 PC012 PC003 PC010 PC014 PC008 PC022 PC002 PC016 และ PC001 มีปริมาณสปอร์ เท่ากับ 445 395 325 270 248 245 229 223 174 168 162 และ 142 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม ตามลำดับ ไปทำการเพิ่มจำนวนด้วยวิธีการดักสปอร์ (trap culture) เพื่อหาเชื้อที่มีประสิทธิภาพในการนำไปผลิตเป็นหัวเชื้อสำหรับทดสอบกับสับปะรดในสภาพกระถางต่อไป

กรมวิชาการเกษตร

Table 1 Soil characteristics and arbuscular mycorrhiza spore density of pineapple cultivation area in Phetchaburi and Prachuapkhirikhan province

	Soil Code	Location and GPS Coordinate	pH	OM (%)	Avail. P (mg kg^{-1})	Exch. K (mg kg^{-1})	No. of spore (100 g $soil^{-1}$)
1.	PC001	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°10'59"N 99°46'23"E)	8.48	0.52	5.57	58.86	142
2.	PC002	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'1"N 99°46'25"E)	3.92	0.40	11.05	80.95	168
3.	PC003	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°10'60"N 99°46'19"E)	3.85	0.43	1.86	101.83	248
4.	PC004	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'47"N 99°48'5"E)	3.43	0.52	4.68	50.10	11
5.	PH001	Phetchaburi, Cha-am, Sam Phraya (12°43'13"N 99°52'28"E)	4.31	0.69	18.29	26.30	12
6.	PH002	Phetchaburi, Cha-am, Sam Phraya (12°43'31"N 99°55'26"E)	4.46	0.53	8.36	27.30	41
7.	PC005	Prachuap Khiri Khan, Hua Hin, Hin Lek Fai (12°34'57"N 99°49'16"E)	3.72	1.16	11.94	71.27	395
8.	PC006	Prachuap Khiri Khan, Hua Hin, Hin Lek Fai (12°34'6"N 99°49'18"E)	3.84	0.56	9.13	42.53	325
9.	PC008	Prachuap Khiri Khan, Hua Hin, Thap Tai (12°32'29"N 99°50'57"E)	3.88	0.67	63.00	212.13	223
10.	PC010	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°10'38"N 99°50'39"E)	4.23	1.22	9.62	106.53	245
11.	PC012	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'3"N 99°46'30"E)	3.60	1.01	28.22	467.67	270
12.	PC013	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'21"N 99°46'31"E)	3.56	1.02	66.69	130.10	71
13.	PC014	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'48"N 99°46'46"E)	4.19	1.47	6.94	54.00	229
14.	PC015	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°12'19"N 99°48'33"E)	4.77	0.56	7.78	66.10	90
15.	PC016	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'42"N 99°47'51"E)	3.42	1.26	30.50	64.30	162
16.	PC017	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Sam Kratai (12°11'35"N 9948'46"E)	3.57	0.74	26.13	41.00	74

กรมวิชาการเกษตร

Table 1 cont.

	Soil Code	Location and GPS Coordinate	pH	OM (%)	Avail. P (mg kg^{-1})	Exch. K (mg kg^{-1})	No. of spore (100 g $soil^{-1}$)
17.	PC018	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Hat Kham (12°6'14"N 99°45'42"E)	3.58	0.66	5.80	90.43	445
18.	PC019	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Hat Kham (12°6'15"N 99°45'41"E)	3.66	0.96	26.26	86.90	76
19.	PC020	Prachuap Khiri Khan, Kui Buri, Hat Kham (12°4'42"N 99°41'39"E)	7.11	0.88	33.17	195.00	9
20.	PC021	Prachuap Khiri Khan, Hua Hin, Thap Tai (12°28'21"N 99°53'38"E)	4.33	0.69	73.62	143.50	22
21.	PC022	Prachuap Khiri Khan, Hua Hin, Thap Tai (12°31'5"N 99°52'44"E)	4.14	0.68	52.89	108.77	174

2. การคัดเลือกและเตรียมหัวเชื้อราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสำหรับปลูกสับปะรด

การคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อสำหรับสับปะรดจากดินจำนวน 12 ตัวอย่างที่พบปริมาณสปอร์สูงสุด (Table 1) กำหนดรหัสเชื้อของแต่ละตัวอย่างและนำมาทำการเพิ่มปริมาณสปอร์ด้วยวิธีการดักสปอร์ (trap culture) โดยใช้ข้าวโพดเป็นพืชอาศัย พบว่ามีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มจำนวนได้เกิน 500 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม และมีเปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยในรากถึง 96.67 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ SMZ49 SMZ79 SMZ47 และ SMZ62 มีปริมาณสปอร์เท่ากับ 987 714 710 และ 527 สปอร์ ตามลำดับ (Table 2) จึงนำทั้ง 4 ตัวอย่างไปขยายเชื้อเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในขั้นตอนต่อไป แต่เนื่องจากสปอร์ที่จำนวนเพิ่มขึ้นมีความหลากหลายของชนิดสปอร์สูง จึงทำการคัดแยกสปอร์ก่อนการขยายเชื้อเพื่อให้ได้เชื้อมีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น โดยจัดกลุ่มของเชื้อจากสปอร์ที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาเหมือนกันอย่างน้อย 100 สปอร์เป็น 1 ไอโซเลท พร้อมทั้งใส่รหัสแต่ละไอโซเลท จากนั้นจึงนำเชื้อที่เตรียมไว้ไปทำการเพิ่มปริมาณ ผลการทดลองพบว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่มีความเข้มข้นสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ SMZ62-1 SMZ47-5 SMZ79-4 SMZ62-2 และ SMZ79-3 มีจำนวนสปอร์ต่อดิน 100 กรัม เท่ากับ 2,702 2,498 2,329 2,245 และ 2,223 สปอร์ ตามลำดับ (Table 3) จึงเลือกทั้ง 5 ไอโซเลทไปเป็นหัวเชื้อเพื่อทดสอบกับสับปะรดในสภาพกระถางตามกรรมวิธีที่ระบุไว้ในแผนการทดลอง

กรมวิชาการเกษตร

Table 2 Total number of spores of AM fungi detected in the direct field soil samples and in trap culture pots, root colonization of AM fungi in trap culture pots and dominant isolated of AM fungi.

	Soil Code	Mycorrhiza Code	No. of spore (100 g $soil^{-1}$) before trap culture	No. of spore (100 g $soil^{-1}$) after trap culture	Root Colonization (%)	Isolate Code
1.	PC0001	SMZ47	142	710	96.67	SMZ47-1, SMZ47-2, SMZ47-3, SMZ47-4, SMZ47-5
2.	PC0002	SMZ48	168	188	83.33	SMZ48-1, SMZ48-2
3.	PC0003	SMZ49	248	987	96.67	SMZ49-1, SMZ49-2, SMZ49-3, SMZ49-4
4.	PC0005	SMZ62	395	527	96.67	SMZ62-1, SMZ62-2
5.	PC0006	SMZ64	325	316	93.33	SMZ64-1, SMZ64-2
6.	PC0008	SMZ66	223	323	90	SMZ66-1, SM66-2
7.	PC0010	SMZ67	245	307	66.67	SMZ67-1, SMZ67-2
8.	PC0012	SMZ69	270	386	88.33	SMZ69-1, SMZ69-2, SMZ69-3
9.	PC0014	SMZ71	229	155	76.67	SMZ71-1
10.	PC0016	SMZ73	162	169	96.76	SMZ73-1
11.	PC0018	SMZ75	445	369	96.67	SMZ75-1, SMZ75-2, SMZ75-3
12.	PC0022	SMZ79	174	714	96.67	SMZ79-1, SMZ79-2, SMZ79-3, SMZ79-4, SMZ79-5

Table 3 Spore density and root colonization of arbuscular mycorrhiza fungi in trap culture

	Isolate Code	No. of spore (100 g $soil^{-1}$)	Root Colonization (%)
1.	SMZ47-1	1,955	90.00
2.	SMZ47-2	1,184	76.67
3.	SMZ47-3	1,389	100.00
4.	SMZ47-4	1,076	96.67
5.	SMZ47-5	2,498	95.00
6.	SMZ49-1	1,463	90.00
7.	SMZ49-2	656	86.67
8.	SMZ49-3	1,025	95.00
9.	SMZ49-4	1,129	98.33
10.	SMZ62-1	2,702	88.09

กรมวิชาการเกษตร

Table 3 Cont.

	Isolate Code	No. of spore (100 g soil^{-1})	Root Colonization (%)
11.	SMZ62-2	2,245	100.00
12.	SMZ79-1	1,641	90.00
13.	SMZ79-2	1,016	93.33
14.	SMZ79-3	2,223	95.00
15.	SMZ79-4	2,329	93.33
16.	SMZ79-5	1,205	91.67

3. การทดสอบการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซากับสับปะรดในสภาพกระถาง

3.1. ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมีและกายภาพก่อนปลูกสับปะรด

จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากแปลงสับปะรดของเกษตรกรใน ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (Table 4) เพื่อนำมาประเมินธาตุอาหารให้แก่สับปะรด พบว่า เนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน (Loamy Sand) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 4.85 เป็นกรดจัดมาก ค่าการนำไฟฟ้า (EC, 1:5) เท่ากับ 1.12 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร อยู่ในระดับไม่เค็ม มีปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) เท่ากับ 0.64 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในระดับต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์ (Avail. P) เท่ากับ 5.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exch. K) เท่ากับ 56.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อยู่ในระดับต่ำ (กองสำรวจดิน, 2523) ดังนั้นอัตราปุ๋ยที่ใส่ให้สับปะรด คือ 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (เทียบเท่า 75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

Table 4 General characteristics of soils before planting.

Soil depth (cm)	Soil texture	pH H_2O (1:1)	EC (dS m^{-1})	OM (%)	Avail. P (mg kg^{-1})	Exch. K (mg kg^{-1})
0-20	Loamy sand	4.85	1.12	0.64	5.87	56.90

3.2 การเจริญเติบโตของสับปะรดในสภาพกระถาง

เมื่อวัดการเจริญเติบโตของสับปะรด (Table 5) พบว่า ความสูงของต้น ความกว้างทรงพุ่ม ความกว้างและความยาวของ ใบ D-Leaf รวมถึงจำนวนสปอร์ในกระถางหลังลงเชื้อ 18 เดือน (Table 7) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และทุกกรรมวิธีมีเปอร์เซ็นต์การติดดอก เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ จำนวนช่อดอกที่สมบูรณ์อยู่ในช่วง 87.50–95.83 เปอร์เซ็นต์ (Table 6) แต่จะเห็นได้ว่าค่าความกว้างของใบ D-leaf พบว่าทุกกรรมวิธีที่มีการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีค่าสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 มีการ

กรมวิชาการเกษตร

เจริญเติบโตในทุกด้านสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยมีค่าความสูง ทรงพุ่ม ความกว้างของใบ D-leaf และความยาวของใบ D-leaf เท่ากับ 36.77 76.83 2.63 และ 54.92 เซนติเมตร ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณสปอร์สูงสุดที่ตรวจนับได้ในกรรมวิธีที่ 2 เมื่อสับปะรดอายุ 6 เดือน ที่มีปริมาณสปอร์เท่ากับ 40 สปอร์ต่อดิน 100 กรัม (Table 7) สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม และมีจำนวนช่อดอกที่สมบูรณ์เท่ากับ 95.83 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม สรุปได้ว่ากรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของต้นสับปะรดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen *et al.* (2017) ที่ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแบบผสมกันหลายชนิดโดยใช้แตงกวา (Cucumber) เป็นพืชทดสอบพบว่าแตงกวาที่มีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอาศัยอยู่ในทุกกรรมวิธีมีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นเพิ่มขึ้นมากน้อยแตกต่างกัน แต่ทุกกรรมวิธีที่ใช้รา อาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีการเจริญเติบโตทั้งความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นสูงกว่ากรรมวิธีควบคุมที่ไม่ใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการช่วยให้พืชเจริญเติบโตได้แตกต่างกันและการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยให้พืชมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการไม่ใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

Table 5 Growth of pineapple at 120 days after planting.

	Treatments	Height (cm)	Canopy Width (cm)	D-Leaf	
				Width (cm)	Length (cm)
T1	SF	34.50	71.66	2.51	54.76
T2	SF+AMF1	36.77	76.83	2.63	54.92
T3	SF+AMF2	34.88	66.95	2.55	55.05
T4	SF+AMF3	34.47	71.14	2.57	52.05
T5	SF+AMF4	37.83	70.43	2.59	55.49
T6	SF+AMF5	35.52	67.36	2.56	52.32
	F-test	Ns	Ns	ns	ns
	CV (%)	8.27	10.49	6.71	6.26

Remark : SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant at 0.05 probability level.

กรมวิชาการเกษตร

Table 6 Percentage of flowering and mature Inflorescence of pineapple after forced flowering 60 days

	Treatments	Flowering (%)	Mature Inflorescence (%)
T1	SF	100	87.50
T2	SF+AMF1	100	95.83
T3	SF+AMF2	100	91.67
T4	SF+AMF3	100	95.83
T5	SF+AMF4	100	95.83
T6	SF+AMF5	100	87.50

Remark : SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P2O5-K2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3.

Table 7 Spore density of arbuscular mycorrhiza in soils at 6 and 18 months after inoculation.

	Treatments	No. of spore/100 g soil at 6 months	No. of spore/100 g soil at 18 months
T1	SF	22.25 ab	132.00
T2	SF+AMF1	40.00 a	202.50
T3	SF+AMF2	11.25 b	466.50
T4	SF+AMF3	14.25 b	466.50
T5	SF+AMF4	14.25 b	240.50
T6	SF+AMF5	15.25 b	314.00
	F-test	*	ns
	CV (%)	77.80	132.69

Remark : SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

3.3 ผลผลิตของสับปะรดในสภาพกระถาง

ผลการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสับปะรดที่อายุ 18 เดือน พบว่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ และราก (vegetative parts) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 8) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ และรากสูงสุด เท่ากับ 1.35 และ 0.36 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ นอกจากนี้ กรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1

กรมวิชาการเกษตร

มีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของลำต้น ใบ และรากสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม โดยมีค่าน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1.24 และ 0.30 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ขนาดผล น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความหวานของผลสับปะรดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกรรมวิธีควบคุมมีค่าความยาว น้ำหนักสด น้ำหนักแห้ง และความหวานของผลสับปะรดมากกว่าการใส่รา AM ในทุกกรรมวิธี ยกเว้นกรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 มีความกว้างของผลสับปะรดสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม จากข้อมูลผลผลิตทั้งหมดพบว่ากรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 และกรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 มีส่วนทำให้สับปะรดมีการเจริญเติบโตมากกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่คุณภาพของผลผลิตทั้งขนาดและความหวานในกรรมวิธีควบคุมมีแนวโน้มที่ดีกว่ากรรมวิธีที่มีการใส่รา AM แม้จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สาเหตุอาจเป็นเพราะกรรมวิธีควบคุมมีรา AM ท้องถิ่นที่ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ในการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรดอยู่ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณรา AM ที่ตรวจพบและมีปริมาณเพิ่มขึ้นหลังลงเชื้อ 6 เดือน และ 18 เดือนในทุกกรรมวิธี (Table 7) นอกจากนี้การปลูกในกระถางที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจส่งผลให้ปริมาณดินไม่เพียงพอและรากถูกจำกัดพื้นที่ในการหาอาหาร ซึ่งจากการสังเกตตอนเก็บเกี่ยวผลผลิตพบว่าปริมาณรากของสับปะรดขดแน่นอยู่ในกระถางโดยเฉพาะบริเวณขอบด้านในของกระถาง เป็นไปได้ว่าถ้ามีการใส่รา AM พร้อมหน่อสับปะรดตอนปลูกลงดินน่าจะเป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของสับปะรดเพราะรากไม่ถูกจำกัดพื้นที่เหมือนอยู่ในสภาพกระถาง

Table 8 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on quantity and quality of pineapple

Treatments		Vegetative Parts		Fruit		Fruit Length (cm)	Fruit Width (cm)	TSS (°Brix)
		Fresh weight (kg plant^{-1})	Dry weight (kg plant^{-1})	Fresh weight (kg fruit^{-1})	Dry weight (kg fruit^{-1})			
T1	SF	1.12 ab	0.290 b	1.00	0.14	13.25	11.31	15.73
T2	SF+AMF1	1.24 ab	0.298 ab	0.91	0.12	13.00	10.93	14.88
T3	SF+AMF2	1.02 b	0.295 ab	0.88	0.12	13.00	10.50	15.28
T4	SF+AMF3	1.06 b	0.301 ab	0.80	0.12	11.81	10.56	15.41
T5	SF+AMF4	1.14 ab	0.293 ab	0.80	0.11	12.00	10.38	15.43
T6	SF+AMF5	1.35 a	0.361 a	0.94	0.14	13.00	11.38	15.66
	F-test	*	*	Ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	16.63	14.85	15.52	19.84	8.36	6.93	5.76

Remark : TSS = Total Soluble Solid; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิชาการเกษตร

3.4 ผลการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรดในสภาพกระถาง

จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลังการเก็บเกี่ยวสับปะรดที่อายุ 18 เดือน ในลำต้นรวมใบ ราก จุก เปลือกผล และเนื้อผล และนำมาคำนวณหาค่าการดูดใช้ธาตุอาหาร (nutrient uptake) ในแต่ละส่วน พบว่า กรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 ทำให้สับปะรดมีการสะสมปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ในลำต้นรวมใบ จุก และเนื้อผลสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม มีค่าเท่ากับ 0.821 2.016 และ 0.385 เปอร์เซ็นต์ (Table 9) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ไนโตรเจน (N uptake) สูงสุดในทุกส่วน ได้แก่ ลำต้นรวมใบ ราก จุก เปลือกผล และเนื้อผล โดยมีค่าเท่ากับ 2.430 0.351 0.387 0.298 และ 0.305 กรัมต่อต้น (Table 9) ตามลำดับ อีกทั้งยังช่วยทำให้สับปะรดมีการดูดใช้ฟอสฟอรัส (P uptake) และโพแทสเซียม (K uptake) สูงสุด ในส่วนลำต้นรวมใบ เท่ากับ 0.214 และ 0.027 กรัมต่อต้น (Table 10) และราก เท่ากับ 2.857 และ 0.139 กรัมต่อต้น (Table 11) ตามลำดับ และมีค่าการดูดใช้แมกนีเซียม (Mg uptake) สูงสุด ในส่วนรากและเปลือกผล มีค่าเท่ากับ 0.036 และ 0.063 กรัมต่อต้น (Table 13) ตามลำดับ ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 ช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้แคลเซียมสูงสุด ในส่วนลำต้นรวมใบ ราก จุก และเปลือกผล มีค่าเท่ากับ 0.817 0.559 0.232 และ 0.572 กรัมต่อต้น (Table 12) ตามลำดับ สรุปได้ว่าทั้งกรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ79-3 และ กรรมวิธีที่ 2 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับรา AM ไอโซเลทที่ SMZ62-1 สามารถช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ธาตุอาหารสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Liu *et al.* (2002) และ Chen *et al.* (2017) ที่พบว่าการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในพืชทดสอบสามารถเพิ่มชีวมวล (biomass) การสะสมปริมาณธาตุอาหาร (Nutrient concentration) และการดูดใช้ธาตุอาหาร (Nutrient uptake) ทั้งธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) และธาตุอาหารรอง (Micronutrients) ให้กับพืชทดสอบได้

กรมวิชาการเกษตร

Table 9 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on nitrogen uptake of pineapple in pot experiment

Treatments		Stem with Leaves			Root			Crown			Peel			Flesh		
		DW (g plant^{-1})	Total N (%)	N Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total N (%)	N Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total N (%)	N Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total N (%)	N Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total N (%)	N Uptake (g plant^{-1})
T1	SF	241.50	0.791 ab	1.925 ab	48.50	0.592	0.287	19.17	1.989	0.380	51.25 ab	0.557	0.284 ab	89.84	0.309	0.279
T2	SF+AMF1	234.50	0.755 ab	1.772 b	63.00	0.545	0.342	19.00	1.944	0.368	47.25 ab	0.534	0.253 ab	74.47	0.347	0.259
T3	SF+AMF2	234.25	0.711 b	1.674 b	60.50	0.530	0.317	21.96	1.917	0.424	47.25 ab	0.499	0.236 ab	71.95	0.341	0.244
T4	SF+AMF3	249.50	0.844 a	2.117 ab	51.50	0.586	0.303	16.88	2.118	0.355	47.25 ab	0.522	0.245 ab	69.08	0.380	0.259
T5	SF+AMF4	237.00	0.753 ab	1.783 b	55.75	0.562	0.309	20.21	2.037	0.404	42.00 b	0.555	0.226 b	66.52	0.367	0.239
T6	SF+AMF5	297.00	0.821 a	2.430 a	64.00	0.550	0.351	19.21	2.016	0.387	55.25 a	0.539	0.298 a	79.82	0.385	0.305
	F-test	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns
	CV (%)	16.27	9.36	21.20	18.45	8.40	14.86	23.34	6.95	21.74	16.95	9.55	17.26	24.24	17.92	28.53

Remark : DW = Dry weight; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิชาการเกษตร

Table 10 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on phosphorus uptake of pineapple in pot experiment

Treatments		Stem with Leaves			Root			Crown			Peel			Flesh		
		DW (g plant^{-1})	Total P (%)	P Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total P (%)	P Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total P (%)	P Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total P (%)	P Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total P (%)	P Uptake (g plant^{-1})
T1	SF	241.50	0.074 a	0.180 ab	48.50	0.037	0.018	19.17	0.214 a	0.041	51.25 ab	0.137	0.070	89.84	0.072	0.064
T2	SF+AMF1	234.50	0.069 ab	0.163 ab	63.00	0.039	0.024	19.00	0.219 a	0.041	47.25 ab	0.132	0.062	74.47	0.068	0.050
T3	SF+AMF2	234.25	0.060 ab	0.138 b	60.50	0.042	0.025	21.96	0.214 a	0.047	47.25 ab	0.138	0.064	71.95	0.071	0.051
T4	SF+AMF3	249.50	0.069 ab	0.171 ab	51.50	0.042	0.022	16.88	0.185 ab	0.032	47.25 ab	0.111	0.052	69.08	0.059	0.041
T5	SF+AMF4	237.00	0.059 b	0.139 b	55.75	0.037	0.020	20.21	0.172 b	0.035	42.00 b	0.115	0.049	66.52	0.064	0.043
T6	SF+AMF5	297.00	0.072 ab	0.214 a	64.00	0.041	0.027	19.21	0.188 ab	0.036	55.25 a	0.108	0.060	79.82	0.059	0.048
	F-test	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	16.27	15.06	23.76	18.45	22.29	29.31	23.34	13.13	28.42	16.95	17.58	23.14	24.24	13.75	28.99

Remark : DW = Dry weight; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิทยาศาสตร์

Table 11 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on potassium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments		Stem with Leaves			Root			Crown			Peel			Flesh		
		DW (g plant^{-1})	Total K (%)	K Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total K (%)	K Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total K (%)	K Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total K (%)	K Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total K (%)	K Uptake (g plant^{-1})
T1	SF	241.50	0.939	2.276 ab	48.50	0.201	0.097 b	19.17	1.703	0.328	51.25 ab	1.505	1.505	89.84	0.864	0.767
T2	SF+AMF1	234.50	0.890	2.086 b	63.00	0.214	0.134 ab	19.00	1.679	0.318	47.25 ab	1.457	1.457	74.47	0.868	0.648
T3	SF+AMF2	234.25	0.877	2.036 b	60.50	0.233	0.138 a	21.96	1.644	0.362	47.25 ab	1.477	1.477	71.95	0.874	0.629
T4	SF+AMF3	249.50	0.973	2.421 ab	51.50	0.239	0.123 ab	16.88	1.665	0.282	47.25 ab	1.424	1.424	69.08	0.861	0.601
T5	SF+AMF4	237.00	0.810	1.906 b	55.75	0.218	0.120 ab	20.21	1.612	0.323	42.00 b	1.490	1.490	66.52	0.858	0.565
T6	SF+AMF5	297.00	0.963	2.857 a	64.00	0.219	0.139 a	19.21	1.633	0.315	55.25 a	1.403	1.403	79.82	0.850	0.686
	F-test	ns	Ns	*	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	16.27	13.40	21.64	18.45	16.63	21.06	23.34	4.97	23.35	16.95	5.48	16.98	24.24	8.03	25.48

Remark : DW = Dry weight; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิชาการเกษตร

Table 12 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on calcium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments		Stem with Leaves			Root			Crown			Peel			Flesh		
		DW (g plant^{-1})	Total Ca (%)	Ca Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Ca (%)	Ca Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Ca (%)	Ca Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Ca (%)	Ca Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Ca (%)	Ca Uptake (g plant^{-1})
T1	SF	241.50	0.771	0.771	48.50	0.948	0.452 ab	19.17	1.061 ab	0.204	51.25 ab	0.494 ab	0.494	89.84	0.288 ab	0.256
T2	SF+AMF1	234.50	0.817	0.817	63.00	0.914	0.559 a	19.00	1.218 a	0.232	47.25 ab	0.572 a	0.572	74.47	0.333 a	0.246
T3	SF+AMF2	234.25	0.631	0.631	60.50	0.809	0.475 ab	21.96	1.022 ab	0.227	47.25 ab	0.566 a	0.566	71.95	0.318 ab	0.228
T4	SF+AMF3	249.50	0.702	0.702	51.50	0.778	0.393 b	16.88	0.977 ab	0.167	47.25 ab	0.479 ab	0.479	69.08	0.290 ab	0.198
T5	SF+AMF4	237.00	0.657	0.657	55.75	0.770	0.429 ab	20.21	0.918 b	0.184	42.00 b	0.555 a	0.555	66.52	0.346 a	0.236
T6	SF+AMF5	297.00	0.588	0.588	64.00	0.649	0.417 ab	19.21	0.853 b	0.164	55.25 a	0.419 b	0.419	79.82	0.234 b	0.192
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns	*	*	ns	ns	*	ns
	CV (%)	16.27	24.28	23.97	18.45	25.43	21.62	23.34	19.07	30.87	16.95	16.10	17.16	24.24	20.67	31.94

Remark : DW = Dry weight; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิชาการเกษตร

Table 13 Effect of co- application of arbuscular mycorrhiza and chemical fertilizer on magnesium uptake of pineapple in pot experiment

Treatments		Stem with Leaves			Root			Crown			Peel			Flesh		
		DW (g plant^{-1})	Total Mg (%)	Mg Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Mg (%)	Mg Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Mg (%)	Mg Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Mg (%)	N Uptake (g plant^{-1})	DW (g plant^{-1})	Total Mg (%)	Mg Uptake (g plant^{-1})
T1	SF	241.50	0.164	0.164	48.50	0.053	0.026 b	19.17	0.355	0.068	51.25 ab	0.113	0.057	89.84	0.116	0.103
T2	SF+AMF1	234.50	0.166	0.166	63.00	0.052	0.032 ab	19.00	0.359	0.068	47.25 ab	0.121	0.057	74.47	0.119	0.088
T3	SF+AMF2	234.25	0.154	0.154	60.50	0.059	0.036 a	21.96	0.329	0.072	47.25 ab	0.126	0.059	71.95	0.128	0.092
T4	SF+AMF3	249.50	0.156	0.156	51.50	0.055	0.028 ab	16.88	0.351	0.060	47.25 ab	0.124	0.058	69.08	0.129	0.088
T5	SF+AMF4	237.00	0.157	0.157	55.75	0.058	0.032 ab	20.21	0.319	0.064	42.00 b	0.128	0.052	66.52	0.126	0.081
T6	SF+AMF5	297.00	0.159	0.159	64.00	0.056	0.036 a	19.21	0.351	0.068	55.25 a	0.115	0.063	79.82	0.122	0.098
	F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	16.27	12.91	20.07	18.45	13.49	18.90	23.34	11.45	22.81	16.95	10.63	12.70	24.24	11.22	21.80

Remark : DW = Dry weight; SF = Soil test-based fertilizer application (4-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 18 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza (AM) isolate SMZ62-1; AMF2 = AM isolate SMZ47-5; AMF3 = AM isolate SMZ79-4; AMF4 = AM isolate SMZ62-2; AMF5 = AM isolate SMZ79-3. ns = non significant; * = significant at 0.05 probability level. Means with the different letters in column are significantly different to each other according to Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

กรมวิชาการเกษตร

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง พบว่ากรรมวิธีที่ดีที่สุดที่ช่วยให้สับปะรดมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร คือ กรรมวิธีที่ 6 ที่ใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 4-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม ร่วมกับราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-3 ช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด ทั้งในส่วนลำต้นรวมใบและราก และยังทำให้มีการสะสมปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในลำต้นรวมใบ จุก และเนื้อผล สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนรากและเปลือกผลสูงสุดอีกด้วย จึงควรนำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-3 ไปศึกษาวิจัยต่อในระดับแปลงโดยเปรียบเทียบกับการลดการใช้ปุ๋ยเคมีในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อหาเทคโนโลยีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เหมาะสมเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีในการผลิตสับปะรดเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 74 หน้า.

เกตุอร ทองเครือ. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรดระบบเกษตรอินทรีย์. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 34 หน้า.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558. หน้า 64–67.

Bray, R.L. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39–45.

Chen, B.D., X.L. Li., H.Q. Tao, P. Christie and M.H. Wong. 2003. The role of arbuscular mycorrhizae in zinc uptake by red clover growing in calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere 50: 839–846.

Chen, S., H. Zhao, C. Zou, Y. Li, Y. Chen, Z. Wang, Y. Jiang, A. Liu, P. Zhao, M. Wang and G.J. Ahammed. 2017. Combined Inoculation with Multiple Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improves Growth, Nutrient Uptake and Photosynthesis in Cucumber Seedlings. Front. Microbiol. 8: 2516.

Fearnside P.M. 1998. Phosphate and human carrying capacity in Brazilian Amazonia, pp. 94–108. *In* J.P. Lynch and J. Deikman, eds. Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem process. American Society Plant Physiology, Rockville.

Gerdemann, J.W. and T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46: 235–244.

กรมวิชาการเกษตร

Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi. 498 p.

Liu, A., C. Hamel, A. Elmi, C. Costa and B. Ma Dl. Smith. 2002. Concentration of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Can. J. Soil Sci. 82: 271–278.

Peech, M. 1965. Hydrogen-ion Activity, pp. 914–925. *In* C.A. Black (ed). Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture, Washington DC. 160 p.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cation. *In* A.L. Page et al (ed.). Method of soil analysis. Second edition. Agronomy 9: 159–166. American Society of Agronomy. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.

กรมวิชาการเกษตร

การทดลองที่ 4
การศึกษาการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชกับสับปะรดในสภาพกระถาง

Study on The use of Arbuscular Mycorrhiza with Phosphate-Potash Solubilizing Bacteria for Pineapple in Pot Condition

บุณฑริก ฉิมชาติ กนกอร บุญพา สนธยา ขำติ๊บ กิตจเมธ แจ้งศิริกุล ธวัชชัย อินทร์บุญช่วย
Boontarik Chimchart, Kanokon Boonpa, Sontaya Khamtib, Kitjamate Jangsirikul, Tawatchai Inboonchuay

คำสำคัญ (keywords) : ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา (Arbuscular mycorrhiza) แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช (Phosphate-potash solubilizing bacteria) สับปะรด (Pineapple)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการมุ่งเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช เพื่อเพิ่มการผลิตสับปะรดในสภาพกระถาง วางแผนการทดลองแบบ RCB จำนวน 4 ซ้ำ มี 5 กรรมวิธีการทดลอง ซึ่งทุกกรรมวิธีมีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ คิดเป็นอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ทำการศึกษาในดินทรายปนร่วน ณ แปลงสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่า ทุกกรรมวิธีมีความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากสับปะรดยังมีอายุน้อย จึงทำให้ยังไม่พบความแตกต่าง แต่ในกรรมวิธีที่มีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 อย่างเดียว และกรรมวิธีที่มีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) จะส่งเสริมต่อความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และทรงพุ่มได้ดี มีค่า 3.15 69.57 และ 111.83 เซนติเมตร นอกจากนี้ ยังพบว่ากรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ส่งผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในลำต้นและรากได้

Abstract

This research focuses on the develop technology to use arbuscular mycorrhiza fungi with phosphate - potash solubilizing bacteria for pineapple in pot condition. The experimental design was RCB with 4 replicates and 5 treatments, all treatments were applied chemical fertilizer at rate 75-34-68 kg N-P_2O_5-K_2O per rai or 5-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 20 kg soil. The experiment was studied

กรมวิชาการเกษตร

in loamy sand soil at pineapple field, Sam Krathai sub-districts, Kui Buri district, Prachuap Khiri Khan province. The result showed that width and length of D-leaf and canopy width are no statistically significant difference in all treatments because pineapple had insufficient growth. But, the treatment was applied only arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ79-4 and applied arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ79-4 with *B. ferrariae* PaS2(1) were promoted width and length of D-leaf and canopy width such as 3.15, 69.57 and 111.83 cm. Furthermore, the treatment was applied chemical fertilizer rate 5-2-4 g N-P_2O_5-K_2O per 20 kg soil and arbuscular mycorrhiza fungi isolate SMZ62-1 with *B. ferrariae* PaS2(1) was effective accumulation of nitrogen phosphorus potassium calcium and magnesium content in stem and root of pineapple.

บทนำ

สับปะรด เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยพันธุ์ที่นิยมปลูก คือ พันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ปลูกเพื่อส่งโรงงานอุตสาหกรรมเป็นสำคัญ ในปี 2559 สับปะรดโรงงานมีเนื้อที่เพาะปลูกทั้งประเทศประมาณ 5 แสนไร่ โดยพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดจำนวนมากกระจายทุกภูมิภาคของประเทศ ซึ่งพื้นที่หลักที่สำคัญ คือ ภาคกลาง ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี ราชบุรี และกาญจนบุรี ซึ่งจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีเนื้อที่เพาะปลูกมากที่สุด ประมาณ 2 แสนไร่ รองลงมาคือ จังหวัดระยอง มีเนื้อที่ประมาณ 4 หมื่นไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) ปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้หน่อข้างเป็นส่วนขยายพันธุ์ ซึ่งการเจริญเติบโตไม่พร้อมกันทำให้มีปัญหาต่อการตอบสนองต่อการใช้สารเคมีในการเร่งการออกดอกทำให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกต่ำ (กรมพัฒนาที่ดิน, ม.ป.ป.) ดังนั้นเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตสับปะรดโดยการใช้หน่อข้างสิ่งที่จำเป็น คือการทำให้การเจริญเติบโตของสับปะรดมีความสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มการตอบสนองต่อการใช้สารเคมีในการเร่งการออกดอก แนวทางหนึ่งคือการเลือกใช้จุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ในดิน ได้แก่ แบคทีเรีย รา และแอคติโนมัยซีส หลายชนิดมีความสามารถในการละลายธาตุอาหารพืชที่ถูกตรึงอยู่ในดิน เช่น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมได้ โดยจุลินทรีย์เหล่านี้จะสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดิน หรือโพแทสเซียมที่ถูกยึดอยู่ในอนุภาคดิน ทำให้ธาตุอาหารพืชดังกล่าวปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการลดการสะสมธาตุอาหารพืชในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์ในดิน และเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชได้ (Saiyad *et al*., 2015; Diep and Hieu, 2013; Maliha *et al*., 2004) ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเป็นทางเลือกหนึ่งเพิ่มศักยภาพในการผลิตสับปะรด เนื่องจากเส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหาร เพิ่มความชื้นในดิน อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อโรคและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้นสับปะรดมีความสมบูรณ์อย่างสม่ำเสมอพร้อมต่อการกระตุ้นการออกดอก (พักตร์เพ็ญ, 2556; Naher *et al*., 2013; Jaizme-Vega and Azcon, 1995) ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูกให้สูงขึ้น การลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลผลิตจะทำให้สับปะรดของไทยมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและพัฒนาการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทสเซียมเพื่อเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชในแปลงสับปะรดและลดปริมาณปุ๋ยเคมีในการปลูกสับปะรด และการใช้

กรมวิชาการเกษตร

ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด ซึ่งนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในการปลูกสับปะรดในเชิงพาณิชย์ต่อไป

ระเบียบวิธีการวิจัย

- อุปกรณ์

1. แบคทีเรียที่ละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช ได้แก่ *Burkholderia ferrariae* PaS2(1)
2. ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ64-1 และ SMZ79-4
3. หน่อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย
4. กระถางขนาด 20 นิ้ว
5. ตะแกรงร่อนสปอร์ ขนาด 45-450 ไมครอน
6. เครื่องปั่นเหวี่ยง ที่มีความเร็วไม่ต่ำกว่า 2,000 รอบต่อนาที
7. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ
8. ปุ๋ยเคมี ได้แก่ ยูเรีย (46-0-0) ดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต (0-42-0) โพแทสเซียมคลอไรด์ (0-0-60)
9. สารเคมีสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ดิน เช่น กรดเปอร์คลอริก กรดไนทริก กรดบอริก โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟิวริก เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต โพแทสเซียมไดโครเมต ฟีแนนโทรลีนอินดิเคเตอร์ ซีลีเนียมมิกซ์เจอร์ แอมโมเนียมอะซีเทต ฯลฯ
10. เครื่องแก้วสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ดิน เช่น หลอดทดลอง บีกเกอร์ ขวดรูปชมพู่ ฯลฯ
11. เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ตู้อบ (oven) เครื่องชั่งสาร (balance) ฯลฯ

- วิธีการ

สุ่มเก็บตัวอย่างดินจากพื้นที่เพาะปลูกสับปะรด ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ แบบ composite sample จำนวน 5 จุด ที่ความลึก 20 เซนติเมตร นำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าพีเอช อินทรียวัตถุโดยวิธี Walkley-Black ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยวิธี Bray II และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ เพื่อนำมาประเมินการใส่ปุ๋ยให้กับสับปะรด และตรวจนับจำนวนสปอร์ในดินปลูกสับปะรดโดยวิธี wet sieving จากนั้นเตรียมดินร่วนปนทรายที่นึ่งฆ่าเชื้อแล้วใส่ในกระถางดินเผา นำราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เพิ่มจำนวนสปอร์ได้มากที่สุดจากการทดลองก่อนหน้า ได้แก่ ไอโซเลทที่ SMZ64-1 และ SMZ79-4 มารองก้นหลุมและปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชอาศัยเพื่อขยายเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการทดลอง พอครบ 3 เดือน นำดินมาร่อนและตรวจนับจำนวนสปอร์ เปอร์เซ็นต์การเข้าอาศัยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ถ้าหากจำนวนสปอร์ยังไม่เพียงพอต่อการทดลอง ให้ทำการขยายเพิ่มตามขั้นตอนข้างต้นอีกรอบ หลังจากนั้นทำการเตรียมแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชที่ใช้ในการทดลอง คือ *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) ซึ่งแบคทีเรียที่คัดแยกมาจากตัวอย่างดินรอบรากสับปะรดจากแปลงสับปะรด ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี เริ่มต้นโดยเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหาร NA ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นของอาหารเพาะเลี้ยง 7.0 ความเข้มข้นของกลูโคส 10 กรัมต่อลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่น

กรมวิชาการเกษตร

เหวี่ยง ที่ความเร็ว 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกเซลล์แบคทีเรียออกจากอาหารเพาะเลี้ยง จากนั้นนำเซลล์แบคทีเรียที่ได้ผสม กับวัสดุพา คือผงซีโอไลท์และแป้งมันสำปะหลัง (อัตราส่วน 2:1) ให้ได้ปริมาณแบคทีเรีย 10^8 เซลล์ต่อกรัม โดยประมาณ

เตรียมดินจากพื้นที่ปลูกสับปะรด บรรจุดินลงในกระถางขนาด 20 นิ้ว จำนวน 20 กิโลกรัม คัดเลือกหน่อสับปะรดที่มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อใช้ในการทดลอง นำหน่อสับปะรดที่คัดเลือกไว้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปแช่สารแขวนลอย *B. ferrariae* PaS2(1) อีกส่วนไม่ต้องแช่สารแขวนลอย *B. ferrariae* PaS2(1) ตามแผนการทดลอง ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่เพิ่มจำนวนได้รองก้นหลุมตามกรรมวิธีที่กำหนดในกระถางที่เตรียมไว้ โดยไอโซเลทที่ SMZ62-1 ใส่จำนวน 40 กรัม และไอโซเลทที่ SMZ79-4 ใส่จำนวน 20 กรัม จากนั้นนำหน่อสับปะรดที่เตรียมไว้ปลูกลงในกระถาง รดน้ำและใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร อัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ใส่ปุ๋ยรอบแรกพร้อมปลูกสับปะรดเมื่อวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2563 ใส่รองก้นหลุมในปริมาณเท่ากันทุกกรรมวิธี โดยใส่ปุ๋ยยูเรีย ดับเบิ้ลซูเปอร์ฟอสเฟต และโพแทสเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 2.53 2.52 และ 1.76 กรัมต่อกระถาง ตามลำดับ ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังปลูกสับปะรด 1-3 เดือน เมื่อวันที่ 15 เมษายน 2563 โดยใส่บริเวณกาบใบล่างชิดโคนต้นในปริมาณเท่ากับครั้งที่ 1 ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3 เมื่อสับปะรดอายุได้ 6 เดือน เมื่อวันที่ 6 สิงหาคม 2563 โดยใส่ปุ๋ยยูเรียและโพแทสเซียมคลอไรด์ ปริมาณ 5.07 และ 3.52 กรัมต่อกระถาง วัดการเจริญเติบโตของสับปะรดที่อายุ 6 เดือน บันทึกข้อมูล ดูแลกำจัดวัชพืชและให้น้ำตามวิธีปฏิบัติของเกษตรกร จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสับปะรดที่อายุ 7 เดือน บันทึกข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ RCB 5 กรรมวิธี 4 ซ้ำ ในสภาพกระถางทดลอง ใช้หน่วยการทดลองละ 6 กระถาง

กรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม (SF)

กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ64-1 (SF+AMF1)

กรรมวิธีที่ 3 ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 (SF+AMF2)

กรรมวิธีที่ 4 ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ64-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) (SF+AMF1+B)

กรรมวิธีที่ 5 ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) (SF+AMF2+B)

- เวลาและสถานที่ เริ่มต้นปี 2563 สิ้นสุดปี 2563 แปลงสับปะรดของเกษตรกร ต.สามกระทาย อ.กุยบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์

กรมวิชาการเกษตร

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมีและกายภาพก่อนและหลังการทดลอง

จากผลวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากแปลงสับปะรดของเกษตรกรใน ตำบลสามกระทาย อำเภอกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพื่อนำมาประเมินธาตุอาหารให้แก่สับปะรด พบว่าเนื้อดินเป็นดินทรายปนร่วน มีค่าพีเอช เท่ากับ 5.47 เป็นกรดจัด ปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับต่ำ มีค่า 0.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ มีค่า 3.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับต่ำ มีค่า 59.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 1) ดังนั้นอัตราปุ๋ยที่ใส่ให้สับปะรด คือ 75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่ ไร่ คิดเป็นอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม (กรมวิชาการเกษตร, 2553)

หลังทำการทดลองได้เก็บดินในแต่ละกรรมวิธีมาทำการวิเคราะห์ธาตุอาหาร (Table 2) พบว่า ปริมาณของอินทรียวัตถุหลังทำการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับดินก่อนทำการทดลอง ในขณะที่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่าฟอสฟอรัสสูงที่สุด เท่ากับ 22.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่าโพแทสเซียมสูงที่สุด เท่ากับ 74.23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เนื่องมาจากการใช้แบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช สามารถสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์ เพื่อละลายสารประกอบฟอสเฟตและโพแทสเซียมที่ถูกตรึง เป็นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่ละลายอยู่ในสารละลายดิน และการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหาร ทำให้พืชสามารถใช้ประโยชน์ได้ เพิ่มความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยเคมีที่ใส่ให้กับพืช (Saiyad *et al*., 2015; Diep and Hieu, 2013; Srivastava and Basu, 1995)

Table 1 General characteristics of soils before planting.

Soil depth (cm)	Soil texture	pH H_2O (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg kg^{-1})	Exch. K (mg kg^{-1})
0-20	Loamy sand	5.47	0.50	3.25	59.59

กรมวิชาการเกษตร

Table 2 General characteristics of soils after harvesting.

Treatments	pH H_2O (1:1)	OM (%)	Avail. P (mg kg^{-1})	Exch. K (mg kg^{-1})
SF	4.78	0.50 a	13.20	50.63
SF+AMF1	4.73	0.43 ab	18.31	60.04
SF+AMF2	4.80	0.38 b	10.91	52.83
SF+AMF1+B	4.91	0.39 b	22.09	52.38
SF+AMF2+B	4.79	0.40 ab	16.03	74.23
P-value	Ns	*	ns	Ns
CV (%)	4.03	24.27	52.40	29.93

Remark: SF = Soil test-based fertilizer application (5-2-4 g/20 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ62-1; AMF2 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ79-4; B = *B. ferrariae* PaS2(1).
In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

การตรวจนับจำนวนสปอร์โดยวิธี wet sieving and decanting (Gerdemann and Nicolson, 1963) ของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาในตัวอย่างดินที่เก็บมาก่อนปลูกสับปะรด จำนวน 5 บริเวณ แล้วนำมา composite พบว่ามีจำนวนสปอร์ 1.6 สปอร์ต่อดินแห้ง 1 กรัม มีแบคทีเรียทั้งหมด ราทั้งหมด ที่สามารถเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อได้ และแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช มีค่า 6.79 3.72 และ 4.41 โคโลนีต่อดินแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ หลังจากเก็บเกี่ยวได้ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินบริเวณที่ปลูกสับปะรดตามกรรมวิธีการทดลองนำมาร่อนตรวจนับสปอร์ พบว่าจำนวนสปอร์ในแต่ละกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในกรรมวิธีที่ใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ62-1 และที่ใส่ราไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีจำนวนสปอร์มากกว่ากรรมวิธีอื่น มีค่า 2.27 และ 2.62 สปอร์ต่อดินแห้ง 1 กรัม ตามลำดับ จำนวนแบคทีเรียที่พบทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากในดินมีแบคทีเรียท้องถิ่นอาศัยอยู่จึงทำให้มีค่าไม่แตกต่างกัน จำนวนแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชในกรรมวิธีที่มีการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่าสูงสุด คือ 5.00 และ 4.68 โคโลนีต่อดินแห้ง 1 กรัม เนื่องมาจากการใส่เชื้อ *B. ferrariae* PaS2(1) เพิ่มเข้าไปจึงมีส่วนช่วยให้ปริมาณแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชสูงกว่ากรรมวิธีที่ไม่ได้แช่หน่อพันธุ์ (Meena *et al*., 2016: Gazey *et al*., 2004) และปริมาณราทั้งหมดที่เพาะเลี้ยงได้ในกรรมวิธีที่มีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซามีจำนวนโคโลนีของราลดลงจากก่อนทำการปลูกสับปะรด จากงานวิจัยพบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของราและแบคทีเรีย เช่น อุณหภูมิ ค่าพีเอช และความอุดมสมบูรณ์ของดิน เป็นต้น (Silva-Flores *et al*., 2019; Ingham, 2012) (Table 3)

กรมวิชาการเกษตร

Table 3 Spore density of arbuscular mycorrhiza, quantity of total bacteria, total culturable fungi and potash-phosphate solubilizing bacteria (PSB) in soils before planting and after harvesting.

Treatments	Spore density (spore g^{-1})	Total bacteria	Total fungi	PSB
		(---------- $Log_{10}CFU\ g^{-1}$ ----------)		
Before planting	1.6	6.79	3.72	4.41
After harvesting				
SF	1.40	6.80	3.56 ab	4.31 b
SF+AMF1	2.27	6.82	3.62 ab	4.38 b
SF+AMF2	1.87	6.89	3.93 a	4.44 b
SF+AMF1+B	2.62	6.93	3.29 b	5.00 a
SF+AMF2+B	1.48	6.93	3.66 ab	4.68 ab
P-value	-	ns	*	*
CV (%)	-	1.82	9.80	8.69

Remark: SF = Soil test-based fertilizer application (5-2-4 g/20 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ62-1; AMF2 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ79-4; B = *B. ferrariae* PaS2(1).
In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

2. การเพิ่มปริมาณสปอร์และคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา

นำสปอร์ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่คัดเลือกได้จากการทดลองก่อนหน้า คือ SMZ62-1 และ SMZ79-4 ไปเพิ่มจำนวนด้วยวิธีการดักสปอร์ (trap culture) โดยใช้ต้นข้าวโพดเป็นพืชอาศัยเป็นเวลา 3 เดือน (Figure 1) เพื่อให้ได้จำนวนที่เพียงพอต่อการลงเชื้อ เพื่อปลูกหน่อสับปะรดตามกรรมวิธีการทดลอง จาก Table 4 แสดงจำนวนสปอร์ของเชื้อที่คัดเลือกได้จากการขยายเชื้อ มีจำนวนสปอร์เฉลี่ยต่อดิน 1 กรัม ตั้งแต่ 8 ถึง 113 สปอร์ ได้ทำการคัดเลือกเชื้อ 2 ไอโซเลท คือ SMZ62-1 และ SMZ79-4 ซึ่งมีจำนวนสปอร์ที่เพิ่มขึ้นเพียงพอต่อการนำไปใช้ มีค่า 59 และ 113 สปอร์ต่อดิน 1 กรัม ตามลำดับ จึงนำไปทำการทดลองต่อไป

Figure 1 Proliferation of arbuscular mycorrhizal spores.

กรมวิชาการเกษตร

Table 4 Spore density of arbuscular mycorrhiza fungi in soil inoculum.

Isolate code	Spore density (spore g^{-1})
SMZ47-5	16
SMZ62-1	59
SMZ62-2	8
SMZ79-3	36
SMZ79-4	113

3. การเจริญเติบโตของสับปะรด

วัดการเจริญเติบโตของสับปะรดที่อายุ 6 เดือนตาม Table 5 พบว่าแต่ละกรรมวิธีมีความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะเห็นได้ว่าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และทรงพุ่มมีค่า 3.15 69.57 และ 111.83 เซนติเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ต่อดิน 20 กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับ *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่ารองลงมา จาก Figure 2 การเจริญของรากสับปะรดมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ในขณะที่ในกรรมวิธีที่มีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ช่วยการกระจายตัวของรากฝอยได้ดีกว่า (c d และ e) ดังนั้นการใส่ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและ *B. ferrariae* PaS2(1) มีส่วนทำให้การเจริญเติบโตสูงกว่ากรรมวิธีควบคุม แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธี สรุปได้ว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชสามารถอยู่ร่วมกันและส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นสับปะรดได้ (Diagne *et al*., 2020; Widada *et al*., 2007) สอดคล้องกับ Tank and Saraf (2003) รายงานว่าราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อยู่ร่วมกับแบคทีเรียบริเวณรอบรากสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้หลายทาง เช่น การตรึงไนโตรเจน การละลายฟอสเฟตและธาตุอาหารอื่น ๆ และการสร้างฮอร์โมน เป็นต้น

กรมวิชาการเกษตร

Table 5 Growth of pineapple at 6 months.

Treatments	Width of D-leaf	Length of D-leaf	Canopy width
	(---------- cm ----------)		
SF	3.01	68.95	105.89
SF+AMF1	2.98	65.60	106.10
SF+AMF2	3.15	69.57	111.83
SF+AMF1+B	2.99	65.80	108.62
SF+AMF2+B	3.11	68.38	108.38
P-value	Ns	Ns	Ns
CV (%)	9.74	6.61	4.82

Remark: SF = Soil test-based fertilizer application (5-2-4 g/20 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ62-1; AMF2 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ79-4; B = *B. ferrariae* PaS2(1).
In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

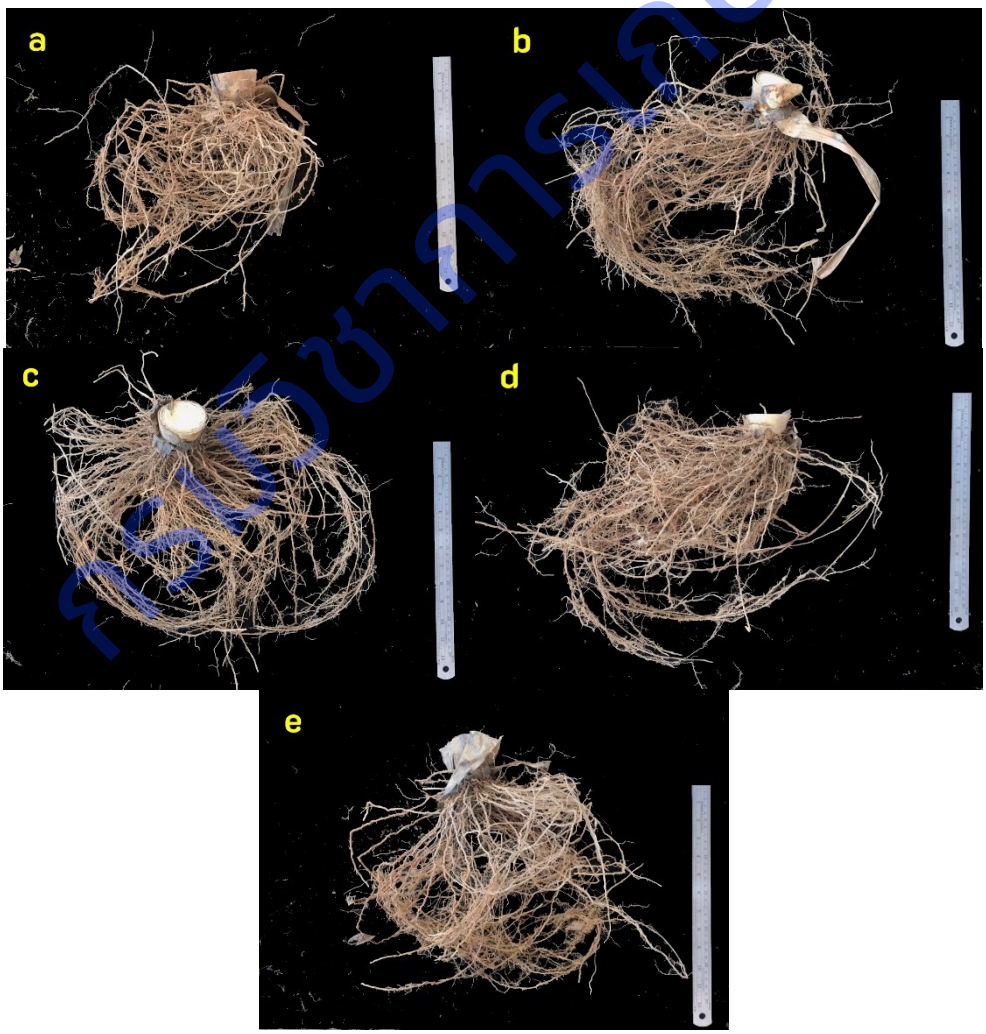


Figure 2 Increase and distribution of pineapple fibrous root such as (a) SF (b) SF+SMZ62-1 (c) SF+SMZ79-4 (d) SF+SMZ62-1+ *B. ferrariae* PaS2(1) (e) SF+SMZ79-4+ *B. ferrariae* PaS2(1).

4. ผลผลิตและค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารในสับปะรด

สุ่มเก็บตัวอย่างต้นและรากสับปะรดที่อายุ 7 เดือน จำนวน 3 ต้นมาชั่งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งได้ค่าตามTable 6 พบว่าน้ำหนักสดและแห้งของต้น และรากสับปะรดในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม มีค่าสูงที่สุด คือ 3.89 0.76 0.56 และ 0.25 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักสดและแห้งของต้นและน้ำหนักแห้งของรากมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 4 และ 5 ที่ใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาและแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ในขณะที่น้ำหนักสดของรากมีเพียงกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัมเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ยังพบว่าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ62-1 มีค่าน้ำหนักสดและแห้งของต้นและรากน้อยที่สุด มีค่า 2.78 0.47 0.40 และ 0.15 กิโลกรัม ตามลำดับ สรุปได้ว่ากรรมวิธีใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินอย่างเดียวอาจจะมีราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาท้องถิ่นที่ช่วยเพิ่มความเป็นประโยชน์ในการดูดใช้ธาตุอาหารของสับปะรดได้ นอกจากนี้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟตยังสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของสับปะรดได้เช่นเดียวกัน (Gazey *et al*., 2004)

Table 6 Fresh and dry weight of pineapple stem and root at 7 months.

Treatments	Fresh weight (kg)		Dry weight (kg)	
	Stem	Root	Stem	Root
SF	3.89 a	0.76 a	0.56 a	0.25 a
SF+AMF1	2.78 b	0.47 b	0.40 b	0.15 b
SF+AMF2	3.43 ab	0.65 ab	0.50 ab	0.21 ab
SF+AMF1+B	3.19 ab	0.61 ab	0.46 ab	0.18 ab
SF+AMF2+B	3.26 ab	0.55 b	0.50 ab	0.18 ab
CV (%)	17.16	24.71	18.76	31.26

Remark: SF = Soil test-based fertilizer application (5-2-4 g/20 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ62-1; AMF2 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ79-4; B = *B. ferrariae* PaS2(1).
In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

จาก Table 7 แสดงผลวิเคราะห์ธาตุอาหารในลำต้นและรากสับปะรดที่อายุ 7 เดือน พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดจะสมสมอยู่ในลำต้นมากกว่าราก มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกกรรมวิธีการทดลอง แต่พบว่าในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับ *B. ferrariae*

กรมวิชาการเกษตร

PaS2(1) มีการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในลำต้น มีค่า 1.165, 0.550, 0.562 และ 0.491 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกับในรากมีการสะสมไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมด มีค่า 0.415, 0.286, 0.422 และ 0.2070 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ62-1 พบการสะสมโพแทสเซียมทั้งหมดทั้งในลำต้นและราก มีค่า 1.965 และ 0.478 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีที่มีการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีส่วนช่วยเพิ่มการสะสมของธาตุอาหารได้ เนื่องจากแบคทีเรียจะสร้างและปลดปล่อยกรดออกมานอกเซลล์เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตที่อยู่ในดินหรือโพแทสเซียมที่ถูกยึดอยู่ในอนุภาคดิน ทำให้ธาตุอาหารพืชดังกล่าวปลดปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และเส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่อยู่รอบ ๆ รากสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารที่ละลายออกมาในสับปะรดได้ (พักตร์เพ็ญ, 2556; Diagne *et al*., 2020; Diep and Hieu, 2013; Han *et al*., 2006)

Table 7 Nutrients concentration in stem and root of pineapple at 7 months.

Treatments	Nutrients concentration (%)									
	Total N		Total P		Total K		Total Ca		Total Mg	
	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
SF	1.069	0.344	0.558	0.243	1.796	0.440	0.452	0.218	0.409	0.201
SF+AMF1	1.020	0.405	0.586	0.265	1.965	0.478	0.471	0.285	0.420	0.204
SF+AMF2	1.005	0.297	0.548	0.260	1.833	0.452	0.489	0.337	0.421	0.204
SF+AMF1+B	1.165	0.415	0.550	0.286	1.898	0.456	0.562	0.422	0.491	0.207
SF+AMF2+B	0.969	0.415	0.540	0.275	1.784	0.475	0.473	0.390	0.438	0.207
P-value	ns	Ns	Ns	Ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
CV (%)	11.18	24.42	6.74	12.06	8.90	9.74	13.69	31.64	10.98	9.22

Remark: SF = Soil test-based fertilizer application (5-2-4 g/20 kg soil); AMF1 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ62-1; AMF2 = Arbuscular mycorrhiza isolate SMZ79-4; B = *B. ferrariae* PaS2(1).
In a column, a common letter is not significant different at the 0.05 level by DMRT.

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง พบว่าทุกกรรมวิธีมีความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และความกว้างทรงพุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากสับปะรดยังมีอายุน้อยจึงทำให้ยังไม่พบความแตกต่าง แต่ในกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 จะส่งเสริมต่อความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และทรงพุ่มได้ดี มีค่า 3.15, 69.57 และ 111.83 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20

กรมวิชาการเกษตร

กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) มีค่า 3.11, 68.38 และ 108.38 เซนติเมตร ตามลำดับ

กรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม ร่วมกับการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลท SMZ62-1 และกรรมวิธีที่มีการใช้ปุ๋ยเคมีอัตรา 5-2-4 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 20 กิโลกรัม และใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา ไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ส่งผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในลำต้นและรากได้ เนื่องจากแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชสามารถสร้างและปลดปล่อยกรดออกมา เพื่อละลายสารประกอบอนินทรีย์ฟอสเฟตหรือโพแทสเซียมที่ถูกยึดอยู่ในดินร่วมกับเส้นใยของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารเหล่านั้น จึงมีผลทำให้สับปะรดในกรรมวิธีที่มีการใช้ราและแบคทีเรียดังกล่าวมีการสะสมธาตุอาหารได้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรด. แหล่งที่มา: https://bit.ly/3anVwyB, 17 กุมภาพันธ์ 2564.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. Thai Journal of Science and Technology 2 (2): 91-101.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สับปะรดโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ แยกตามอายุการเก็บเกี่ยว รายจังหวัด ปี 2559. แหล่งที่มา: https://bit.ly/3u0YxwN, 17 กุมภาพันธ์ 2564.

Diagne, N., M. Ngom, P.I. Djighaly, D. Fall, V. Hocher and S. Svistoonoff. 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: importance in biotic and abiotic stressed regulation. Diversity 12: 370.

Diep, C.N. and T.N. Hieu. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province, Vietnam. American Journal of Life Sciences 1 (3): 88-92.

Gazey, C., L.K. Abbott and A.D. Robson. 2004. Indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi contribute to plant growth in two agricultural soils from south-western Australia. Mycorrhiza 14: 355-362.

Gerdemann, J.W. and T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society 46: 235-244.

กรมวิชาการเกษตร

Han, H.S., Supanjani and K.D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment 52 (3): 130-136.

Ingham, E.R. 2012. Soil Biology Primer. Available: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/biology/, February 17, 2021.

Jaizme-Vega, M.C. and R. Azcon. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. Mycorrhiza. 5 (3): 213–217.

Maliha, R.; K. Samina; A. Najma; A. Sadia and L. Farooq. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 187–196.

Meena, V.S., B.R. Maurya, J.K. Verma and R.S. Meena. 2016. Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. Springer Nature, India.

Naher, U.A., R. Othman and Q.A. Panhwar. 2013. Beneficial effects of mycorrhizal association for crop production in the tropics - a review. International Journal of Agriculture and Biology 15 (5): 1021-1028.

Saiyad, S.A., Y.K. Jhala and R.V. Vyas. 2015. Comparative efficiency of five potash and phosphate solubilizing bacteria and their key enzymes useful for enhancing and improvement of soil fertility. International Journal of Scientific and Research Publications 5 (2): 1-6.

Silva-Flores, P., C.G. Bueno, J. Neira and G. Palfner. 2019. Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi spore density in the chilean mediterranean-type ecosystem. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 19: 42-50.

Srivastava, N.K. and M. Basu. 1995. Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in some medicinal plants, pp. 58-61. *In* A. Adholeya and S. Singh, eds. Mycorrhizae: Biofertilizers for the Future. Third National Conference on Mycorrhiza, TERI, Delhi, India.

Tank, N. and M. Saraf. 2003. Phosphate solubilization, exopolysaccharide production and indole acetic acid secretion by rhizobacteria isolated from Trigonella foenum-graecum. Indian Journal of Microbiology 43: 37–40.

Widada J, D.I. Damarjaya and S. Kabirun. 2007. The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil, pp. 173–177. *In* E. Velazquez and C. Rodriguez-Barrueco, eds. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Springer, Dordrecht.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการดำเนินงานโครงการวิจัยการใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีและเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในการปลูกสับปะรด สามารถคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช *Burkholderia ferrariae* PaS2(1) จากตัวอย่างดินรอบรากสับปะรดจากแปลงสับปะรด ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบในสภาพกระถางโดยการแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ก่อนปลูกร่วมกับการลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทช ซึ่งจากการทดลองการแช่หน่อพันธุ์สับปะรดด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ก่อนปลูก สามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทชร้อยละ 50 ของอัตราแนะนำ คือ จากอัตรา 4.20-1.80-3.88 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (75-34-68 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) เป็น 4.20-0.90-1.94 กรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อดิน 18 กิโลกรัม (75-17-34 กิโลกรัม N-P_2O_5-K_2O ต่อไร่) โดยไม่มีผลกระทบต่อร้อยละการติดดอกผลผลิตของสับปะรดทั้งปริมาณผลผลิต (น้ำหนักผล และขนาดผล) และคุณภาพผลผลิต (ความหวาน ความเข้มข้นน้ำตาล และความฉ่ำ) นอกจากนี้การใช้ *B. ferrariae* PaS2(1) แช่หน่อพันธุ์ก่อนปลูกร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีมีแนวโน้มช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ต้นรวมใบ ก้านผล จุก เปลือกผล และเนื้อผล

ในส่วนของการคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่มีประสิทธิภาพต่อการดูดซับธาตุอาหารของสับปะรด สามารถคัดเลือกราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาที่ช่วยให้สับปะรดมีประสิทธิภาพในการดูดซับธาตุอาหาร คือ ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-3 ช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูงสุด ทั้งในส่วนลำต้นรวมใบและราก และยังทำให้มีการสะสมปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดใน ลำต้นรวมใบ จุก และเนื้อผล สูงกว่ากรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ยังช่วยให้สับปะรดมีการดูดใช้แมกนีเซียมในส่วนรากและเปลือกผลสูงสุดอีกด้วย

การศึกษาการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาร่วมกับแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทชกับสับปะรด พบว่า การใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) จะส่งเสริมต่อความกว้างและความยาวของใบ D-leaf และทรงพุ่มได้ดี ส่วนการใช้ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ร่วมกับการแช่หน่อพันธุ์ด้วย *B. ferrariae* PaS2(1) ส่งผลต่อการสะสมปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมทั้งหมดในลำต้นและรากได้

กรมวิชาการเกษตร

ข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานของโครงการวิจัยการใช้จุลินทรีย์ดินเพื่อลดการใส่ปุ๋ยเคมีและเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารในการปลูกสับปะรด ซึ่งสามารถคัดเลือกแบคทีเรียละลายทั้งฟอสเฟตและโพแทช *B. ferrariae* PaS2(1) และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-3 ราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ79-4 และราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาไอโซเลทที่ SMZ62-1 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีฟอสเฟตและโพแทช และช่วยส่งเสริมการดูดใช้ธาตุอาหารต่าง ๆ ของสับปะรด ทำให้ช่วยลดต้นทุนปัจจัยการผลิต เหมาะสมที่จะนำมาพัฒนาต่อยอดให้อยู่ในรูปปุ๋ยชีวภาพละลายฟอสเฟตและโพแทช ปุ๋ยชีวภาพอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา และปุ๋ยชีวภาพที่ประกอบด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟตและโพแทชและราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซา สำหรับสับปะรด และควรมีการศึกษาวิธีการผลิตปุ๋ยชีวภาพเชิงพาณิชย์ด้วย

กรมวิชาการเกษตร

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาที่ดิน. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรด. แหล่งที่มา: https://bit.ly/3anVwyB, 17 กุมภาพันธ์ 2564.

กรมวิชาการเกษตร. 2553. คำแนะนำการใช้ปุ๋ยกับพืชเศรษฐกิจ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 122 หน้า.

กองสำรวจดิน. 2523. คู่มือการจำแนกความเหมาะสมของที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. เอกสารวิชาการ ฉบับที่ 28. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 74 หน้า.

เกตุอร ทองเครือ. ม.ป.ป. การปลูกสับปะรดระบบเกษตรอินทรีย์. สำนักพัฒนาการถ่ายทอดเทคโนโลยี กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 34 หน้า.

จีราภรณ์ อินทสาร ปฏิภาณ สุทธิกุลบุตร และ จักรพงษ์ไชยวงศ์. 2556. การใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ที่สามารถละลายฟอสเฟตได้ภายใต้การผลิตลำไยอินทรีย์ [ออนไลน์].

ไตรธานี เยี่ยมอ่อน นันทวัน ฤทธิเดช ประสิทธิ์ ใจศิล และโสภณ บุญลือ. 2555. การส่งเสริมการเจริญเติบโตของอ้อยด้วยแบคทีเรียละลายฟอสเฟต ในสภาพเรือนทดลอง: แก่นเกษตร 40 ฉบับพิเศษ 3: 185-193

พักตร์เพ็ญ ภูมิพันธ์. 2556. บทบาทของราอาร์บัสคูลาร์ไมคอร์ไรซาต่อพืช ดิน และสิ่งแวดล้อม. Thai Journal of Science and Technology 2 (2): 91-101.

สุปรานี มั่นหมาย ภาวนา ลิกขนานนท์ และอธิปัตย์ คลังบุญครอง. 2558. การจัดการธาตุอาหารพืชโดยใช้ประโยชน์จากจุลินทรีย์ดินเพื่อการผลิตอ้อย. ผลการปฏิบัติงานประจำงบปีประมาณ 2558 หน้า 160 - 171. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2558. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558. หน้า 64-67.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2559. สับปะรดโรงงาน: เนื้อที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ แยกตามอายุการเก็บเกี่ยว รายจังหวัด ปี 2559. แหล่งที่มา: https://bit.ly/3u0YxwN, 17 กุมภาพันธ์ 2564.

Aleksandrov, V.G., R.N. Blagodyr and I.P. Liiev. 1967. Liberation of phosphoric acid from apatite by silicate bacteria. Mikrobiology Zh (Kiev). 29: 111-114.

Azam, F. and G.H. Memon. 1996. Soil organisms. Pages. 200–232. In: E. Bashir and R. Bantel., (eds.) Soil science. National Book Foundation, Islamabad.

Bray, R.L. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39–45.

Chen, B.D., X.L. Li., H.Q. Tao, P. Christie and M.H. Wong. 2003. The role of arbuscular mycorrhizae in zinc uptake by red clover growing in calcareous soil spiked with various quantities of zinc. Chemosphere 50: 839–846.

Chen, S., H. Zhao, C. Zou, Y. Li, Y. Chen, Z. Wang, Y. Jiang, A. Liu, P. Zhao, M. Wang and G.J. Ahammed. 2017. Combined Inoculation with Multiple Arbuscular Mycorrhizal Fungi

กรมวิชาการเกษตร

Improves Growth, Nutrient Uptake and Photosynthesis in Cucumber Seedlings. Front. Microbiol. 8: 2516.

Cunningham, J.E. and C. Kuiack, 1992. Production of citric and oxalic acids and solubilization of calcium phosphate by *Penicillium bilaii*. Applied and Environmental Microbiology. 58: 1451-1458.

Delvasto, P., A. Valverde, A. Ballester, J.A. Muñoz, F. González, M.L. Blázquez, J.M. Igual and C. García-Balboa. 2008. Diversity and activity of phosphate bioleaching bacteria from a high-phosphorus iron ore. Hydrometallurgy. 92: 124–129.

Diagne, N., M. Ngom, P.I. Djighaly, D. Fall, V. Hocher and S. Svistoonoff. 2020. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and performance: importance in biotic and abiotic stressed regulation. Diversity 12: 370.

Diep, C.N. and T.N. Hieu. 2013. Phosphate and potassium solubilizing bacteria from weathered materials of denatured rock mountain, Ha Tien, Kiên Giang province, Vietnam. American Journal of Life Sciences 1 (3): 88-92.

Doetsch, R.N. 1981. Determinative methods of light microscopy. In: Gerhardt P, editor. Manual of methods for general bacteriology. Washington, DC: American Society for Microbiology;. P 29-30.

Felsenstein, J. 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. Evolution. 39: 783-791.

Fearnside P.M. 1998. Phosphate and human carrying capacity in Brazilian Amazonia, pp. 94–108. *In* J.P. Lynch and J. Deikman, eds. Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem process. American Society Plant Physiology, Rockville.

Friedrich, S., N.P. Platonova, G.I. Karavaiko, E. Stichel and F. Glombitza, 1991. Chemical and microbiological solubilization of silicates. Acta Biotechnologica. 11: 187-196.

Frossard, E.; M. Brossard; M.J. Hedley and A. Metherell. 1995. Reactions controlling the cycling of P in soils. Pages. 107–138. In: H. Tiessen., (eds.) Phosphorus in the Global Environment. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, U.K.

Gazey, C., L.K. Abbott and A.D. Robson. 2004. Indigenous and introduced arbuscular mycorrhizal fungi contribute to plant growth in two agricultural soils from south-western Australia. Mycorrhiza 14: 355-362.

Gerdemann, J.W. and T.H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. Trans. Brit. Mycol. Soc. 46: 235–244.

กรมวิชาการเกษตร

Han, H.S., Supanjani and K.D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant, Soil and Environment 52 (3): 130-136.

Hu, X., J. Chen and J. Guo, 2006. Two phosphate- and potassium-solubilizing bacteria Isolated from Tianmu mountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 22 (9): 983-990.

Ingham, E.R. 2012. Soil Biology Primer. Available: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/biology/, February 17, 2021.

Jackson, M.L. 1967. Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi. 498 p.

Jaizme-Vega, M.C. and R. Azcon. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. Mycorrhiza. 5 (3): 213–217.

Li, F.C., S. Li, Y.Z. Yang and L.J. Cheng, 2006. Advances in the study of weathering products of primary silicate minerals, exemplified by mica and feldspar. Acta Petrologica Mineralogica. 25: 440-448.

Lian, B., P.Q. Fu, D.M. Mo and C.Q. Liu, 2002. A comprehensive review of the mechanism of potassium releasing by silicate bacteria. Acta Mineralogica Sinica. 22: 179-183.

Liu, A., C. Hamel, A. Elmi, C. Costa and B. Ma Dl. Smith. 2002. Concentration of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Can. J. Soil Sci. 82: 271–278.

Liu, D., B. Lian and H. Dong, 2012. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. Geomicrobiology Journal. 29: 413-421.

Maliha, R.; K. Samina; A. Najma; A. Sadia and L. Farooq. 2004. Organic acids production and phosphate solubilization by phosphate solubilizing microorganisms under in vitro conditions. Pakistan Journal of Biological Sciences 7: 187–196.

Mamta, R.P., V. Pathania, A. Gulati, B. Singh, R.K. Bhanwra and R. Tewari, 2010. Stimulatory effect of phosphate-solubilizing bacteria on plant growth, stevioside and rebaudioside-A contents of *Stevia rebaudiana* Bertoni. Applied Soil Ecology. 46: 222-229.

Meena, V.S., B.R. Maurya, J.K. Verma and R.S. Meena. 2016. Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture. Springer Nature, India.

Naher, U.A., R. Othman and Q.A. Panhwar. 2013. Beneficial effects of mycorrhizal association for crop production in the tropics - a review. International Journal of Agriculture and Biology 15 (5): 1021-1028.

กรมวิทยาศาสตร์

Peech, M. 1965. Hydrogen-ion Activity, pp. 914–925. *In* C.A. Black (ed). Method of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties No.9. Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

Peech, M., L. T. Alexander, L. A. Deanand and J. F. Reed. 1947. Method of Soil analysis for Soil Fertility Investigation. US. Dept. Agric. Circ. 757 p.

Pikovskaya, R.I. 1948. Mobilization of phosphorous in soil in connection with vital activity of some microbial species. Microbiologiya. 17: 362-370.

Richards, L.A. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Department of Agriculture, Washington DC. 160 p.

Saiyad, S.A., Y.K. Jhala and R.V. Vyas. 2015. Comparative efficiency of five potash and phosphate solubilizing bacteria and their key enzymes useful for enhancing and improvement of soil fertility. International Journal of Scientific and Research Publications 5 (2): 1-6.

Setargie, A., S. Tilahun, S. Alemayehu, T. Dejenie and S. Kiros, 2015. Isolation and phenotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria from lentil (*Lens culnaris.*) rhizosphere soils from Southern parts of Tigray, Ethiopia. International Journal of Microbiological Research. 6: 188-194.

Sheng, X.F. and L.Y. He, 2006. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology. 52: 66-72.

Sheng, X.F., 2005. Growth promotion and increased potassium uptake of cotton and rape by a potassium releasing strain of *Bacillus edaphicus*. Soil Biology and Biochemistry. 37: 1918-1922.

Silva-Flores, P., C.G. Bueno, J. Neira and G. Palfner. 2019. Factors affecting arbuscular mycorrhizal fungi spore density in the chilean mediterranean-type ecosystem. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 19: 42-50.

Son, H.J., G.T. Park, M.S. Cha and M.S. Heo, 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. Bioresource Technology. 97: 204-210.

Srivastava, N.K. and M. Basu. 1995. Occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in some medicinal plants, pp. 58-61. *In* A. Adholeya and S. Singh, eds. Mycorrhizae: Biofertilizers for the Future. Third National Conference on Mycorrhiza, TERI, Delhi, India.

Tandon, H.L.S., H.P. Cescas and E.H. Tyner. 1968. An acid free vanadate molybdate reagent for the determination of total phosphorus in soil. Soil Sci. Amer.Proc. 32: 48-51.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Tank, N. and M. Saraf. 2003. Phosphate solubilization, exopolysaccharide production and indole acetic acid secretion by rhizobacteria isolated from Trigonella foenum-graecum. Indian Journal of Microbiology 43: 37–40.

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cation. *In* A.L. Page et al (ed.). Method of soil analysis. Second edition. Agronomy 9: 159–166. American Society of Agronomy. Inc., Madison, Wisconsin, U.S.A.

Valverde, A., P. Delvasto, A. Peix, E. Velázquez, I. Santa-Regina, A. Ballester, C. Rodríguez-Barrueco, C. García-Balboa and J.M. Igual. 2006. *Burkholderia ferrariae* sp. nov., isolated from an iron ore in Brazil. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 56: 2421–2425.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

Whitelaw, M.A. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. Advances in Agronomy 69:99–151.

Widada J, D.I. Damarjaya and S. Kabirun. 2007. The interactive effects of arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobacteria on the growth and nutrients uptake of sorghum in acid soil, pp. 173–177. *In* E. Velazquez and C. Rodriguez-Barrueco, eds. First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization. Springer, Dordrecht.

กรมวิชาการเกษตร